

ESTUDO PRELIMINAR PARA IDENTIFICAÇÃO
DE PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO ATRAVÉS DO
MÉTODO GEOFÍSICO POR ELETORRESISTIVIDADE

Mayara Lilian Prá

Orientadora: Cátia Regina Pinto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

Mayara Lilian Prá

**ESTUDO PRELIMINAR PARA IDENTIFICAÇÃO DE
PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO
GEOFÍSICO POR ELETORRESISTIVIDADE**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora
Prof. Dra. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto

Florianópolis

2011

Mayara Lilian Prá

**ESTUDO PRELIMINAR PARA IDENTIFICAÇÃO DE
PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO
GEOFÍSICO POR ELETRORRESISTIVIDADE**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Graduado
em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado.

Florianópolis, 20 de junho de 2011.

Banca Examinadora:



Prof. Dra. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Dra. Cristina Cardoso Nunes

Pesquisadora do Laboratório REMAS

Universidade Federal de Santa Catarina



Dr. Alexandre Guedes Junior

GeoEnvi – Geologia e Meio Ambiente

AGRADECIMENTOS

A Deus, espiritualidade suprema, pela vida, pelas boas intuições e amparo incessável.

Aos meus pais, Alcino e Lilian e meu irmão Mayton, por proporcionarem todas as condições para que eu tivesse uma vida repleta de carinho, amor e contribuíram profundamente para minha educação, tanto moral quanto intelectual.

À minha família como um todo, pelos momentos singulares que compartilhamos juntos, nos encontros familiares.

Ao meu namorado Renan pelo apoio, amor e os planos que compartilhamos, e por ter se tornado parte essencial da minha vida. À sua família, por me acolher e me tratar sempre com muito amor, transmitindo seus maiores valores morais e espirituais.

À minha orientadora, professora Cátia, por suas considerações e contribuições para com o meu trabalho.

Ao meu supervisor de estágio e amigo Alexandre, pela oportunidade e confiança, pela sua experiência, paciência, seus conselhos, enfim pela sua grande contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus colegas de trabalho Mônica, Gilson, Nick e, principalmente à Aline, que me ajudaram de todas as maneiras para a conclusão deste trabalho sempre proporcionando um ambiente de trabalho amistoso e descontraído.

E, finalmente, aos meus grandes amigos conquistados durante todo período de faculdade, em especial: Nina, Bruna, Nadi, Luizinho, Mariana, Karina, Amandona, Amandinha e Aninha, pelos momentos inesquecíveis compartilhados por nós nestes 5 anos e meio.

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de aplicar o método geofísico por eletrorresistividade para mapear o subsolo de uma indústria de produtos químicos com a finalidade de identificar eventuais focos de contaminação por sais inorgânicos. Além disso, foi realizada uma caracterização ambiental da área de estudo e dos impactos ambientais possíveis decorrentes da eventual contaminação. Para a contextualização deste tema, foi realizada uma breve revisão bibliográfica a respeito do método geofísico por eletrorresistividade e caracterização ambiental da região de Joinville, onde está inserida a área de estudo; em seguida foi aplicada a metodologia proposta, obtendo-se resultados positivos quanto à contaminação com sais inorgânicos, porém foi proposto um estudo confirmatório através de métodos diretos de análise, como coletas e análises físico-químicas da água do poço tubular que abastece a empresa.

PALAVRAS-CHAVE: investigação geofísica, eletrorresistividade, plumas de contaminação

ABSTRACT

This work aimed to apply the method of geophysical resistivity to map the subsoil of a chemical industry in order to identify possible sources of contamination by inorganic salts. In addition, there will be a brief characterization of the environmental study area and the possible environmental impacts arising from possible contamination. To contextualize this issue there will be a literature review regarding the method of geophysical resistivity and environmental characterization of the region of Joinville, where the study area is situated. Afterwards the proposed methodology was applied, which showed positive results to inorganic salts contamination, however, a confirmatory study by direct methods, such as samples collection and physico-chemical analysis of the well-water that supplies the enterprise, was proposed.

KEYWORDS: geophysical survey, resistivity, contamination plumes.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. JUSTIFICATIVA	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA REGIÃO DE JOINVILLE	4
3.1.1. Aspectos Climáticos	4
3.1.2. Geologia.....	6
3.1.3. Geomorfologia.....	9
3.1.4. Hidrografia.....	10
3.1.5. Hidrogeologia	11
3.3. MÉTODOS GEOFÍSICOS	13
3.3.1. Principais Métodos Geofísicos para Investigações Ambientais	14
3.3.2. Seleção do Método Geofísico	15
3.3.3. Método Geofísico por Eletrorresistividade (ER)	19
3.3.4. Propriedade elétrica dos materiais geológicos	24
4. METODOLOGIA	28
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
4.2. COLETA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS	30
4.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS	33
4.4. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	34

5. RESULTADOS	36
5.1. MAPA HIDROGEOLÓGICO LOCAL	36
5.2. MAPEAMENTO DO SUBSOLO DA EMPRESA.....	47
5.3. CARACTERIZAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL	58
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de Temperatura Média	5
Figura 2 - Precipitação - Região de Joinville	5
Figura 3 - Umidade Relativa - Região de Joinville	6
Figura 4 - Método da Eletrorresistividade no contexto dos Métodos Geofísicos Aplicados (adaptado de Gandolfo, 2007).....	19
Figura 5 - Medidas de 1º Nível segundo o arranjo dipolo-dipolo	22
Figura 6 - Explicação do arranjo Dipolo-Dipolo	23
Figura 7 - Esquema das medidas segundo o arranjo Schlumberger	24
Figura 8 - Realização do levantamento geofísico próximo ao Poço Tubular.....	31
Figura 9 - Equipamento <i>Resistivímetro GTR-3 Geotrade</i>	32
Figura 10 - Exemplo de SEV; gráfico gerado pelo software RES2DINV. Cedida por GeoEnvi - Geologia e Meio Ambiente	34
Figura 11 - Exemplo de caminhamento elétrico; imagem 2D gerada pelo software RES2DINV. Cedida por GeoEnvi - Geologia e Meio Ambiente	34
Figura 12 - Escala de Interpretação - CEs.....	35
Figura 13 - Escala de Interpretação – SEVs.....	35
Figura 14 - SEV 01	37
Figura 15 - SEV 01 interpretado	38
Figura 16 - SEV 02	39
Figura 17 - SEV 02 interpretado	40
Figura 18 - SEV 03	41
Figura 19 - SEV 03 interpretado	42
Figura 20 - SEV 04	43
Figura 21 - SEV 04 interpretada	44
Figura 22 - Rio Mississippi passando pelo terreno da empresa	47
Figura 23 - CE 01.....	48
Figura 24 - CE 01 interpretado	48
Figura 25 - Tanques de Sais de Cobalto.....	49
Figura 26 - CE 02.....	50
Figura 27 - CE 02 interpretado	51
Figura 28 - CE 03.....	53

Figura 29 - CE 03 interpretado.....	54
Figura 30 - CE 04.....	56
Figura 31 - CE 04 interpretado.....	57

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento econômico e tecnológico, responsável por proporcionar maior conforto e melhora da qualidade de vida, traz por outro lado uma série de impactos ambientais que podem causar efeitos irreversíveis a nível global.

Na década de 80, por exemplo, ocorreu o maior acidente nuclear da história mundial em Chernobyl, na Ucrânia, onde cerca de 5 milhões de pessoas foram e continuam sendo afetadas (International Atomic Energy Agency - IAEA, 2006). Recentemente, o vazamento de petróleo de uma das maiores empresas petrolíferas do mundo no Golfo do México chamou a atenção da população mundial para com os riscos desta atividade.

Os estudos ambientais surgem neste cenário como instrumentos essenciais para a minimização destes impactos, propondo medidas preventivas, corretivas e mitigadoras para os mesmo.

Na realização do diagnóstico ambiental de determinada área é necessária uma série de informações, tais como: características físicas, biológicas e socioeconômicas do local. Porquanto, o estudo geológico é fundamental para a caracterização das formações rochosas locais.

Este estudo pode ser realizado de diversas formas, sendo o método geofísico cada vez mais empregado, por ser de natureza não destrutiva com análise indireta dos dados, ou seja, exigindo uma interpretação e tratamento dos dados obtidos em campo (CETESB, 1999).

O método geofísico tem sido aplicado com as mais diversas finalidades em várias áreas da engenharia, tais como: identificação de topo de rocha e profundidade da camada de solo, para obras civis; determinação de profundidade e sentido do fluxo subsuperficial, para estudos ambientais e hidrogeológicos; locação de falhas geológicas para estudos geotécnicos de estabilidade. E, num contexto mais atual, está sendo aplicado para identificação de plumas de contaminação na água subterrânea.

Este trabalho foi desenvolvido com o seguinte escopo: aplicabilidade do método geofísico por eletorresistividade na identificação de plumas de contaminação por sais inorgânicos, além da

caracterização dos impactos ambientais que podem decorrer deste tipo de contaminação.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o método geofísico por eletrorresistividade para mapeamento do subsolo e identificação de eventuais focos de contaminação por sais inorgânicos, caracterizando os impactos ambientais provenientes desta contaminação.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Mapear o subsolo através do método geofísico por eletrorresistividade;
- Identificar locais suscetíveis à contaminação por sais inorgânicos;
- Determinar o sentido e direção do fluxo subterrâneo de água;

1.2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho é justificado por dois argumentos principais: a importância de estudos ambientais em áreas industriais e a obtenção de informações referentes à qualidade da investigação geofísica para identificação de plumas de contaminação com sais inorgânicos.

Tendo em vista o desenvolvimento tecnológico e a busca por inovações principalmente no setor industrial, a preocupação para com o meio ambiente, muitas vezes, é deixada de lado.

A realização de estudos de viabilidade ambiental de certos tipos de empreendimentos tem sido exigida há pouco tempo no Brasil, sendo

regulamentada pela resolução CONAMA nº 01, de 1986, que define quais tipos de estabelecimentos devem realizar e qual tipo de estudo ambiental é cabível para cada caso.

Portanto, é necessário o desenvolvimento de metodologias para a realização deste tipo de estudo, visto que estes serão cada vez mais exigidos e com maior rigor pelos órgãos ambientais, que demonstram uma crescente preocupação para com o desenvolvimento sustentável.

O método geofísico tem sido aplicado em amplos setores da engenharia nas últimas décadas, porém o estudo a respeito de investigações de plumas de contaminação com sais inorgânicos ainda está em estágio embrionário, cabendo maior desenvolvimento de pesquisas acerca do método para tal finalidade. Desta forma, este trabalho procura demonstrar, com aplicação em campo, a eficácia do método geofísico por eletrorresistividade neste tipo de investigação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA REGIÃO DE JOINVILLE

3.1.1. Aspectos Climáticos

Segundo Köppen apud Ayoade (1996) a região de Joinville pode ser classificada como Cfa – isto é, úmido em todas as estações com verão quente. Desta forma, pode-se dizer que Joinville possui um clima subtropical úmido com épocas distintas de verão e inverno. No verão, predominam massas de ar equatoriais e tropicais, marcadamente a Massa Equatorial Continental, a Massa de Ar Tropical Atlântica e, eventualmente, a Massa Tropical Continental.

A presença da Massa Equatorial Continental, originada na Amazônia, provoca altas temperaturas e umidade, acompanhadas de intensas chuvas de convecção e descargas elétricas, enquanto a umidade relativa do ar e as temperaturas alcançam valores altos. A Serra do Mar a oeste – noroeste da área de estudos funciona como uma “barreira” facilitando a ocorrência de chuvas orográficas, levando a observação de altos índices pluviométricos, principalmente nos meses entre dezembro e fevereiro. Já a presença da Massa de Ar Tropical Atlântica provoca chuvas, geralmente de menor intensidade, comparando-se com a massa equatorial, mas ainda podendo ocorrer fortes chuvas convectivas, embora de menor intensidade. Nas ocasiões em que ocorre o predomínio da Massa de Ar Tropical Atlântica, a pluviosidade é reduzida ou nula, provocando dias de tempo quente e seco (KÖPPEN apud AYODE, 1996).

De acordo com a estação meteorológica sinótica da Universidade da Região de Joinville (Univille), que possui dados de 1996 até os primeiros meses de 2011, a temperatura média da região é de 22,3° C, conforme a Figura 1 a seguir.

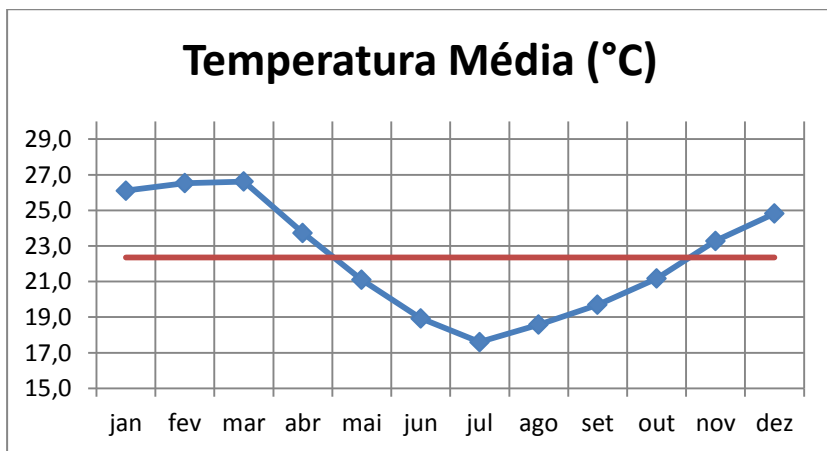


Figura 1 - Gráfico de Temperatura Média

Nota-se, na Figura 2 – Gráfico de Precipitação, a média anual de precipitação é de 197,8mm. Os altos valores de precipitação registrados no verão são explicados pela conjugação de chuvas trazidas pela Massa Equatorial Continental (mEc) e pela Massa de ar Tropical Atlântica (mAt), e o efeito orográfico da Serra do Mar (FATMA, 2003).

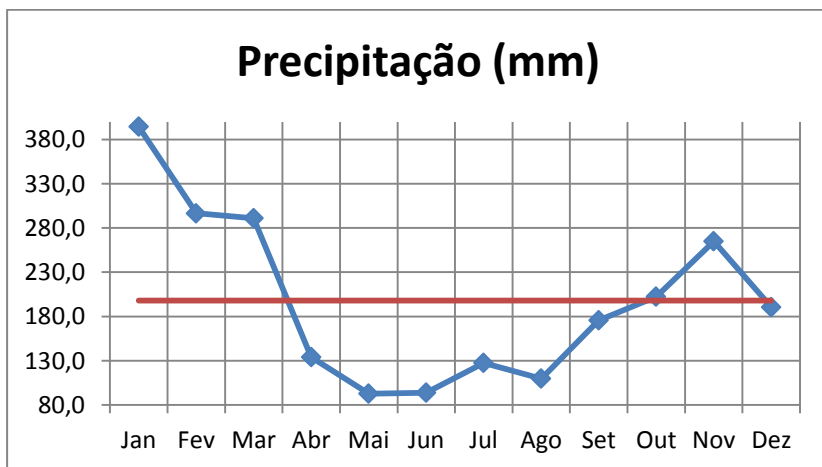


Figura 2 - Precipitação - Região de Joinville

Em relação à umidade relativa do ar, a média é de 80,7%, conforme a Figura 3 a seguir. No verão ela é reduzida, atingindo seus maiores valores quando da aproximação do verão. Os altos valores de umidade caracterizam a região como muito úmida (FATMA, 2003)

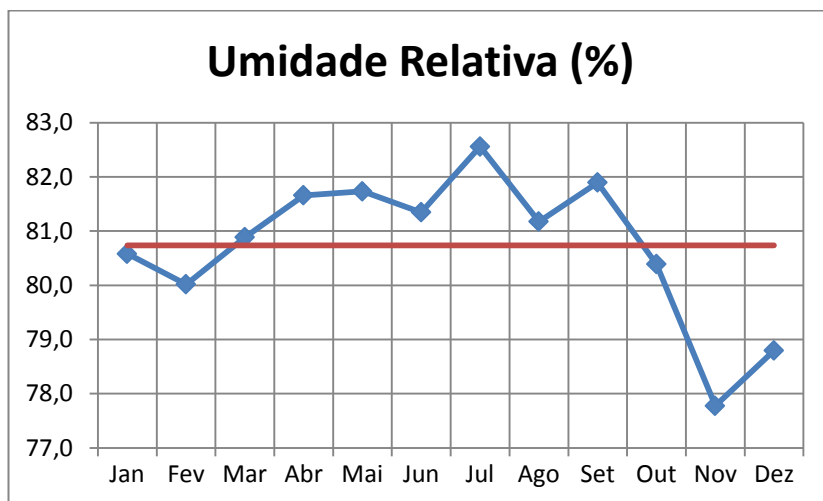


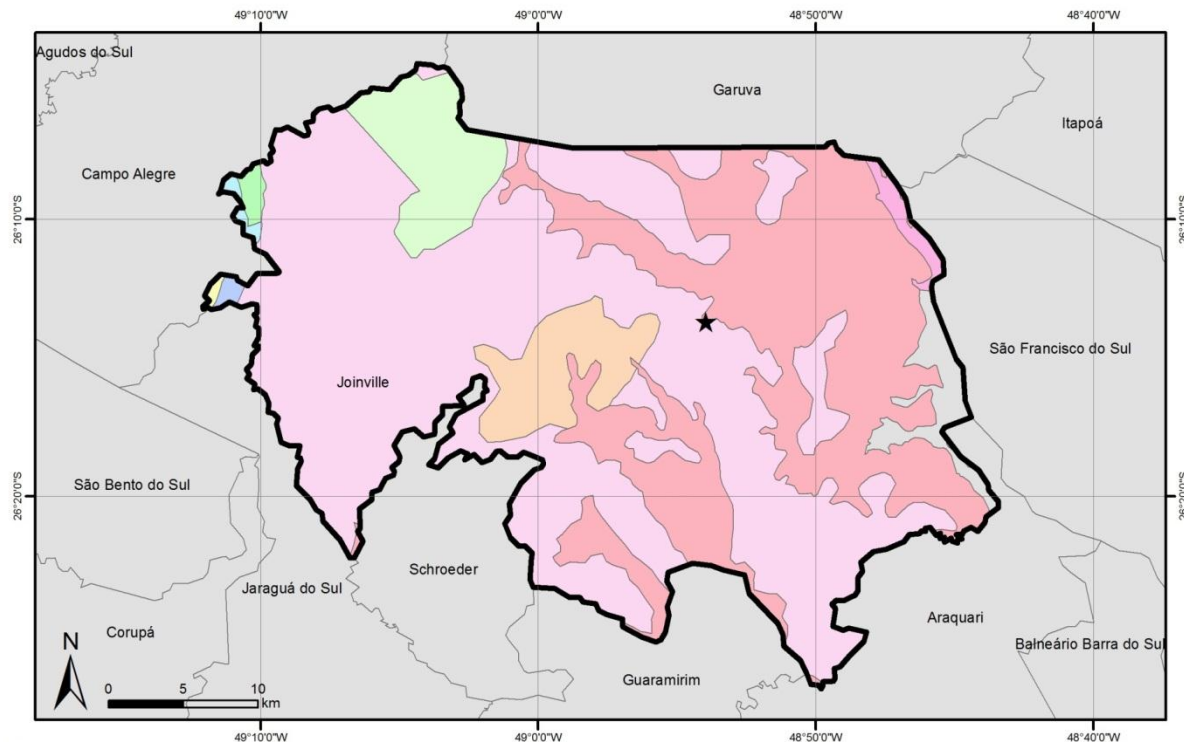
Figura 3 - Umidade Relativa - Região de Joinville

3.1.2. Geologia

O contexto geológico da região de Joinville está demonstrado no Mapa Geológico a seguir, onde se pode notar que a região está inserida predominantemente no Complexo Granulítico de Santa Catarina, definido inicialmente por Hartmann et al. (1979), consistindo em rochas metamórficas nas fácies granulito e anfibolito. A caracterização petrográfica das suas diversas ocorrências rochosas que incluem gnaisses hiperstênicos quartzo-feldspáticos associados à ultramafitos, gnaisses calcissilicáticos, kinzigitos, anortositos e quartzitos, eventualmente fuscíticos, formações ferríferas (SILVA; BORTOLUZZI, 1983).

Macroscopicamente, os gnaisses são identificáveis pela cor dominante cinza esverdeado, e bandas gnáissicas, muitas delas guardando ainda a característica mineralógica da rocha original, como no caso de bandas quartzo feldspáticas, tipicamente de granito (SILVA; BORTOLUZZI, 1983).

Além da presença dos gnaisses granulíticos na região de estudo, de acordo com o Mapa Geológico da Região de Joinville, apresentado a seguir, nota-se a presença de sedimentos aluvionares (Qha), consistindo em areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos depositados em planícies de inundação, terraços e calhas de rede fluvial atual. (SILVA; BORTOLUZZI, 1983)



LEGENDA

- Complexo Granulítico Santa Catarina - Unidade de rochas orto e paraderivadas: Gnaiss, Granulito, Gnaiss Granulítico
- Porções de Mar, Lago ou Lagoa
- Campo Alegre, Formações Papanduvinha e São Bento do Sul: Arenito Arcoseano, Conglomerado suportado por Clastos, Conglomerado Polimítico
- Campo Alegre, Formações Avenca Grande, São Miguel e Fazenda Uirapuru: Riolito, Quartzo-Traquito, Traquito, Traquiandesito, Ignimbrito

- Campo Alegre, Formação Rio Negrinho: Andesito, Basalto, Arenito Arcoseano, Siltito
- Granito Dona Francisca: Álcali-feldspato Granito
- Granito Pirai: Álcali-feldspato Granito
- Depósitos aluvionares: Areia, Cascalho
- Campo Alegre, Formação Rio do Bugre: Arenito Arcoseano, Siltito
- Área de Estudo

Mapa Geológico Região de Joinville

Base de dados: Mapa Geológico
informação 1:1.000.000
Folha SG 22 - Curitiba
Disponível no GeoBank - CPRM
Serviço Geológico do Brasil
Projeção: Geográfica - Datum: WGS-84

3.1.3. Geomorfologia

De acordo com o Atlas Ambiental da Região de Joinville (2003), a diversidade de aspectos geomorfológicos da região de Joinville causou a divisão da região em quatro domínios morfoestruturais que, por sua vez, foram subdivididos em sete unidades geomorfológicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Domínios Morfoestruturais e Unidades Geomorfológicas

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS
I. Depósitos Sedimentares Quaternários	I.A - Planícies Marinhas
	I.B - Planícies Aluviais
	I.C - Planos e Rampas Colúvio- Aluviais
II. Coberturas Molassóides e Vulcanitos Associados	II.D - Planalto de São Bento do Sul
III. Rochas Granitóides	III.E - Serra do Mar
IV. Embasamento em Estilos Complexos	IV.F - Colinas Costeiras
	IV.G - Serras Cristalinas Litorâneas

Segue uma breve descrição das Unidades Geomorfológicas presentes na região de Joinville, segundo Rosa (2003).

As Planícies Marinhas compreendem todo o conjunto de paisagens desenvolvidas sobre sedimentos transportados e depositados sobre o regime praiar pela ação de ondas, correntes, marés e ventos. Neste tipo de unidade estão incluídos os terraços marinhos e lagunares, as planícies eólicas e as planícies de marés.

As Planícies Aluviais são encontradas entre as planícies Marinhas e os Planos e Rampas Colúvio-Aluviais, englobam várias bacias hidrográficas que fazem parte da vertente atlântica do território

catarinense. Os rios que desembocam na Baía da Babitonga apresentam uma multiplicidade de canais, numa região ocupada pelos manguezais.

Os Planos e Rampas Colúvio-Aluviais caracterizam a transição entre o marinho e o continental. As formas que ocorrem neste tipo de unidade geomorfológica são modelados planos, as rampas de declividades diversas, alguns baixos platôs e colinas.

O Planalto de São Bento do Sul, modelado em colinas, está localizado entre 850 e 950 metros de altitude. O relevo é densamente cortado por canais de drenagem curtos e pouco aprofundados.

A Serra do Mar é composta por várias cristas, picos, serras, montanhas e escarpas separadas por vales profundos com encostas de alta declividade. Nela estão as maiores altitudes de todo o litoral catarinense, com picos que atingem 1.500m.

As Colinas Costeiras são caracterizadas por uma sucessão de morros e colinas de pequena altitude, que dificilmente ultrapassam 50m de desnível entre a base e o topo.

As Serras Cristalinas Litorâneas correspondem a uma área com relevo montanhoso e escarpado, muito semelhante ao encontrado na Serra do Mar. Nesta unidade encontram-se, nos altos cursos dos rios que formam as bacias do Cubatão, vales suspensos e cachatas tipo “véu de noiva”.

Num contexto mais amplo, a área de estudo deste trabalho está inserida no domínio morfoestrutural “Depósitos Sedimentares Quaternários”. Dentro desta classificação, pode-se dizer que a região em questão está dentro da unidade geomorfológica “Planos e Rampas Colúvio-Aluviais”, por apresentar as características geológicas de sedimentos aluvionares, além de estar localizada em uma área de transição entre o ambiente marinho e continental.

3.1.4. Hidrografia

Segundo a compartimentação hidrográfica do Brasil proposta pela Agência Nacional de Águas – ANA, a região de Joinville está inserida na região hidrográfica Atlântico Sul, que abrange todo o trecho litorâneo desde as proximidades da divisa dos estados de São Paulo e do Paraná, ao norte, até o arroio Chuí, ao sul.

O primeiro nível da macrocompartimentação hidrográfica do estado de Santa Catarina divide o território estadual em dois grandes setores, de acordo com a orientação dos rios: Vertentes do Atlântico e Vertentes do Interior. O setor Vertentes do Atlântico compreende as áreas cujos cursos d'água fluem para o oceano Atlântico, ao passo que o setor Vertentes do Interior compreende as áreas cujos cursos d'água fluem para as bacias dos rios Paraná e Uruguai. O segundo nível da macrocompartimentação hidrográfica do estado divide as bacias hidrográficas em três grupos: bacias do Sudeste, bacias do Iguaçu e bacias do Uruguai. (OLIVEIRA et al., 2009)

De acordo com Gonçalves et al. (2006), as principais bacias hidrográficas que banham a região de Joinville são as seguintes:

- Bacia do Rio Itapocu, grande bacia hidrográfica que abrange também os municípios de Jaraguá do Sul, Schroeder, Guaramirim e Corupá. É composta pelas sub-bacias dos rios Piraí, do Júlio, Águas Vermelhas, Motucas, Piraizinho e Jacu;
- Bacia do Rio Cubatão, localizada na zona norte, cuja nascente se localiza na Serra Queimada e escoar na direção do canal das Três Barras e daí para a Baía da Babitonga. É formada pelos rios Quiriri, Izaack, da Prata, Seco, Lindo, do Braço e Mississipi;
- Bacia do Rio Cachoeira, a qual corta a área urbana da sede do município (no sentido noroeste – sudeste) e deságua na Baía da Babitonga, passando antes pela Lagoa do Saguçu. Compõem esta bacia os rios Morro Alto, Matias, Jaguarão, Bucarein, Itaum-mirim e Santinho.

A área de estudo deste trabalho está inserida na bacia do Rio Cubatão, estando diretamente relacionada com o Rio Mississipi, passando este dentro do terreno da empresa.

3.1.5. Hidrogeologia

Devido ao fato das águas superficiais serem visíveis, existe a equivocada ideia de que elas são as maiores responsáveis pelo abastecimento de água potável. Ao contrário do que se imagina, cerca de

97% da água doce disponível para consumo humano está no subsolo e apenas 3% provém das águas superficiais (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Segundo Gonçalves (2002), as reservas de água subterrânea da região da BHRC são divididas em aquífero livre e cristalino. O primeiro está associado ao manto de intemperismo e aos depósitos sedimentares recentes, enquanto o aquífero cristalino está relacionado aos terrenos pré-cambrianos do complexo granulítico de Santa Catarina com ocorrência de gnaisses granulíticos, quartzitos e formações ferríferas, sendo este aquífero regido principalmente por grandes sistemas de fraturas e/ou falhas.

Para a região de Joinville verificou-se que a grande demanda por poços rasos para exploração do aquífero livre ou freático se deu nas décadas de 1970 e 80, quando foram perfurados 48% dos poços cadastrados, cujas profundidades mostram um predomínio entre 2,1 e 4,0 metros (GONÇALVES e BARBOSA, 1998).

O principal uso dos poços rasos é o abastecimento doméstico (48%), enquanto um percentual significativo se apresenta sem uso (19%). O uso ocasional (quando falta água da rede) aparece em terceira colocação, com 17% (GONÇALVES e BARBOSA, 1998)

O aquífero cristalino da região de Joinville é fornecedor de vazões baixas. Gonçalves e Duarte (1996) verificaram que a vazão média dos poços profundos cadastrados até 1995 era de 6,4 m³/h e que, dos 77 poços que possuíam controle da vazão, 45% apresentaram produção inferior a 3m³/h; além disso, 25% dos poços profundos perfurados no município de Joinville têm fornecido vazões menores que 1,0 m³/h, havendo alguns poços secos.

De acordo com Gonçalves e Barbosa (1998), quanto aos poços profundos, nota-se uma maior concentração de poços profundos no Distrito Industrial, situado na Sub-Bacia do Rio do Braço. Essa proximidade entre os poços vem causando uma sobrecarga local no aquífero cristalino. Muitos dos poços situados nessas áreas vêm reduzindo a sua vazão em até 50% nos últimos dez anos. A situação topográfica dos poços profundos varia entre o nível do mar e a cota de 16 metros.

Com relação às características qualitativas dos poços da região de Joinville, Gonçalves e Barbosa (2002) e Barbosa (2002)

identificaram a presença de poluição física, química e biológica nas águas do aquífero livre da microbacia do Rio Mississipi, sub-bacia do Rio do Braço. Amostras de água do aquífero raso foram colhidas em dois poços de monitoramento com seis metros de profundidade. Os pontos escolhidos estavam na área de entorno do aterro sanitário de Joinville, que antes de 1982 era um lixão. Os resultados confirmaram a presença de poluição biológica (alta DQO e DBO, presença de coliformes totais e fecais) em todas as amostras analisadas, assim como a presença de poluição física (cor, turbidez, sólidos suspensos e sólidos totais) nas águas subterrâneas, além da poluição química detectada pela presença de cádmio, cromo, ferro, chumbo, manganês, níquel, selênio, mercúrio, óleos e graxas minerais, vegetais e animais.

Os autores acreditam que essa poluição reflita um passivo ambiental anterior à implantação do atual aterro sanitário, pois o ponto à jusante dele apresenta uma carga de poluição superior ao poço existente dentro do aterro.

As características físicas e químicas das águas subterrâneas do sistema cristalino de Joinville foram estudadas por Baggio (1997) e caracterizadas como cristalinas sem cor aparente, inodoras, com temperaturas oscilando entre 19 e 21 graus, turbidez média entre 2,5 e 3,0 unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

3.3. MÉTODOS GEOFÍSICOS

Há uma grande variedade de métodos para investigação do subsolo, estes são divididos entre os métodos diretos, isto é, que permitem a observação direta do subsolo através de amostras coletadas ou de medidas de propriedades in situ, como escavações, sondagens, ensaios de campo, entre outros; e os métodos indiretos – onde são feitas medidas, geralmente na superfície do terreno, de propriedades geotécnicas do solo, e com a interpretação destas medidas é realizada a caracterização do subsolo (GANDOLFO, 2007).

Entre os métodos indiretos de investigação mais comuns estão os Métodos Geofísicos, considerados métodos não invasivos ou não destrutivos, onde se tem a informação subsuperficial através da aquisição e interpretação de dados instrumentais.

O desenvolvimento da geofísica aplicada ocorreu, a princípio, impulsionado pelo objetivo voltado à prospecção de matérias-primas existentes a grandes profundidades, destacando-se o petróleo e o carvão mineral. Desta forma, verificou-se o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de aquisição, bem como dos instrumentos de medida dos métodos geofísicos, além da grande melhoria no processamento e interpretação dos dados obtidos em campo. Num contexto mais atual, a geofísica tem sido aplicada na engenharia, hidrogeologia e meio ambiente, voltada para a investigação de alvos relativamente mais rasos (GANDOLFO, 2007).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1999), os métodos geofísicos permitem avaliar as condições geológicas locais através das diferenças das propriedades físicas do solo, por exemplo, condutividade ou resistividade elétrica, permissividade dielétrica, magnetismo, densidade, etc., que podem ter como origem as distinções litológicas e outras heterogeneidades naturais ou não.

Além disso, as principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos diretos são: rapidez na avaliação de grandes áreas com um custo relativamente menor, possibilidade de geração de perfis contínuos que permitem identificar com maior precisão as variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea (CETESB, 1999).

Num contexto de diagnóstico ambiental a realização de estudo geofísico tem por objetivo a caracterização geológica e hidrogeológica do local, podendo ser determinante na identificação da presença da contaminação subterrânea.

3.3.1. Principais Métodos Geofísicos para Investigações Ambientais

Para os estudos ambientais há uma série de métodos geofísicos que podem ser utilizados, entretanto, os principais e mais adequados, que comumente são aplicados à investigação da contaminação do solo e da água subterrânea, são o geo-radar (GPR), o eletromagnético indutivo (EM), a eletrorresistividade (ER) e a magnetometria (CETESB, 1999).

Estes métodos apresentam a vantagem de serem capaz de detectar diretamente a contaminação subterrânea, enquanto que os

demaís atuam principalmente na identificação das feições geológicas das áreas em estudo (CETESB, 1999).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (1999), o método Geo-Radar (GPR) consiste em medir a permissividade dielétrica do meio geológico, pelo princípio de onda eletromagnética refratada e refletida. Suas principais aplicações são: caracterização geológica e hidrogeológica, localização de resíduos enterrados, localização de dutos e galerias subterrâneas, cubagem em aterros e lixões e detecção de contaminação orgânica ou inorgânica.

Já o método Eletromagnético Indutivo (EM), tem por propriedade física medida a condutividade elétrica, pelo princípio da indução de campo eletromagnético no subsolo. Suas principais aplicações são: definição das condições hidrogeológicas naturais, localização de resíduos, tambores e tanques enterrados, galerias subterrâneas e delimitação de plumas de contaminação inorgânica (CETESB, 1999).

Na Eletrorresistividade (ER), a propriedade física avaliada é a resistividade elétrica, pelo princípio da injeção de corrente no solo. Principais aplicações: caracterização hidrogeológica, determinação dos estratos geológicos, localização de resíduos enterrados e mapeamento de plumas de contaminantes inorgânicos (CETESB, 1999).

Por fim, o método da Magnetometria – ou método magnético – avalia a propriedade física da suscetibilidade magnética nos meios geológicos, através do princípio da determinação de anomalias de materiais ferromagnéticos. Sendo que suas principais aplicações são: a localização de tanques, tambores e de resíduos metálicos ferrosos enterrados.

3.3.2. Seleção do Método Geofísico

Neste mesmo manual sobre Método Geofísicos elaborado pela CETESB (1999), para a seleção do método a ser empregado, o ideal é ter conhecimento da geologia local, das características físico-químicas das águas subterrâneas e do contaminante, do tipo de descarte dos contaminantes e invólucro utilizado para tal e da proximidade de edificações e instalações.

Dentre os aspectos mencionados, dois deles são preponderantes e decisivos na escolha do método o geofísico a ser empregado, que são:

- o tipo de contaminação;
- o ambiente geológico onde está disposto o contaminante.

Para o estudo em questão, onde a potencial contaminação se trata de sais inorgânicos as recomendações da CETESB (1999), são as seguintes:

“Os contaminantes inorgânicos em contato com a água subterrânea aumentam a concentração de íons livres, elevando a condutividade elétrica do meio. Para a determinação desses contrastes de condutividade, o método eletromagnético indutivo é mais indicado que a eletrorresistividade, principalmente pela rapidez de execução do levantamento e pela precisão na determinação de variações laterais.

O geo-radar pode ser empregado para este tipo de investigação como alternativa, uma vez que os limites da pluma inorgânica podem ser determinados pela atenuação das ondas eletromagnéticas. Exemplos: mapeamento das plumas de contaminação a partir de aterros malcontrolados ou devido à infiltração de resíduos industriais.”

Já quanto ao aspecto geológico local, que se aproxima do indicado no Manual da CETESB (1999) como Sedimentos não consolidados e material intemperizado, para tal o indicado pelo Manual é o seguinte:

“Os sedimentos superficiais não consolidados, representados pelas areias, cascalhos, seixos, e os materiais intemperizados, frequentemente, apresentam maior resistividade e menor teor de argila em relação aos materiais mais compactados.

Assim, esse tipo de meio favorece a aplicação dos métodos de eletrorresistividade, eletromagnético indutivo e o geo-radar na investigação de contaminantes de alta condutividade.”

Para resumir as principais aplicabilidades dos métodos de acordo com o tipo de investigação desejada, a CETESB (1999) desenvolveu a Tabela 2, apresentada a seguir:

Tabela 2 - Tabela Resumo das principais aplicações dos métodos geofísicos em áreas contaminadas

	Geo-Radar	Eletromagnético	Eletrorresistividade	Magnetométrico
Caracterização geológica e hidrogeológica de locais	1. Adequado	2. Alternativo	1. Adequado	3. Não se utiliza
Mapeamento de pluma de contaminação inorgânica	2. Alternativo	1. Adequado	2. Alternativo	3. Não se utiliza
Localização de valas de resíduos e determinação dos limites de aterros e lixões	1. Adequado	1. Adequado	2. Alternativo	3. Não se utiliza (só se houver presença de materiais metálicos)
Investigação de resíduos orgânicos e pluma orgânica	1. Adequado	2. Alternativo (em condições especiais)	2. Alternativo (em condições especiais)	3. Não se utiliza
Deteccão de objetos metálicos enterrados	1. Adequado	2. Alternativo	3. Não se utiliza	1. Adequado

Apesar do Método Geofísicos por Eletrorresistividade ser apontado como alternativo para o mapeamento de pluma de contaminação inorgânica, ele ainda pode ser utilizado, devido à indicação do método para o contexto geológico da área de estudo e para a caracterização geológica e hidrogeológica do meio, uma vez que um dos objetivos do trabalho é também determinar o sentido e direção do fluxo subterrâneo.

3.3.3. Método Geofísico por Eletrorresistividade (ER)

São diversos os métodos geofísicos aplicados à prospecção e pesquisa, podendo ser eles: Métodos Sísmicos, Métodos Geoeletricos e Métodos Potenciais. De acordo com Gandolfo (2007), os Métodos Geoeletricos, por sua vez, são caracterizados por medir em superfície a resposta de meios geológicos à excitação por campos elétricos ou magnéticos de origem natural ou artificial e a principal propriedade física investigada é a resistividade elétrica ou o seu inverso, a condutividade elétrica.

Os métodos da eletrorresistividade, da polarização induzida (IP) e do potencial espontâneo (SP) constituem o grupo dos Métodos Elétricos de Prospecção (Figura 4).

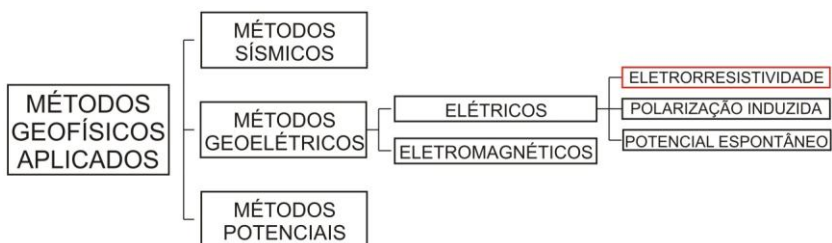


Figura 4 - Método da Eletrorresistividade no contexto dos Métodos Geofísicos Aplicados (adaptado de Gandolfo, 2007)

Os Métodos de Eletrorresistividade foram desenvolvidos no início do século XX, mas só se tornaram mais difundidos nos anos 1970, devido principalmente à disponibilidade de computadores para processar

e analisar os dados obtidos em campo. É um método amplamente empregado na prospecção de água subterrânea, bem como no monitoramento de plumas de contaminação na água subterrânea (Reynolds, 1997).

A Eletrorresistividade baseia-se no fato de que o solo e as rochas, em função de suas composições mineralógicas, texturais e disposições, apresentam a propriedade da resistividade elétrica. Como a água também possui a propriedade elétrica da resistividade, também é possível mapear a ocorrência e a profundidade do nível freático no subsolo.

O método é realizado estabelecendo-se uma corrente elétrica no solo por meio de um par de eletrodos e verificando-se o potencial resultante por outro par de eletrodos. A corrente elétrica de intensidade I é transmitida por um par de eletrodos denominados A e B, aos quais está conectada uma fonte de corrente. Mede-se a diferença de potencial (ΔV) entre dois eletrodos de recepção denominados M e N. A partir daí, pode-se calcular a resistividade aparente do meio geológico. As disposições destes eletrodos recebem o nome de “arranjos”, destacando-se os seguintes: Schlumberger, Wenner, Dipolo-dipolo, Pólo-dipolo, Pólo-pólo, entre outros (SILVA, 2005).

Os arranjos mais amplamente difundidos são o arranjo Dipolo-Dipolo e Schlumberger que são utilizados para as técnicas de “Caminhamento Elétrico” e “Sondagem Elétrica Vertical - SEV”, respectivamente. No arranjo Dipolo-Dipolo, os eletrodos de corrente (A e B) e os eletrodos de potencial (M e N) são posicionados em linha, de forma que os espaçamentos AB e MN sejam sempre os mesmos, denominado espaçamento “a”, aumentando-se a separação entre eles de acordo com um fator qualquer “n” de “a”. Cada um destes afastamentos corresponde a um nível de investigação. Já no arranjo Schlumberger, apenas os eletrodos de corrente (A e B) se movimentam, porquanto a distância entre os eletrodos A e B deve ser pelo menos cinco vezes a distância MN.

De acordo com Reynolds (1997), o objetivo desta técnica de investigação é obter modelos de resistividade real para o subsolo sendo que estes representam as condições reais do meio geológico. Cada configuração possui um fator geométrico próprio, decorrente do arranjo de eletrodos e da modelagem que considera o solo um meio homogêneo e isotrópico. Sabe-se que na realidade o solo é um material heterogêneo

e que pode apresentar até mesmo anisotropia. Porquanto, a resistividade aferida deve ser considerada como aparente. O cálculo das resistividades aparentes, para sucessivas profundidades de investigação, é feito em função da separação entre eletrodos por meio do fator geométrico K. Feito da seguinte maneira:

$$\rho_a = \frac{K(\Delta V)}{I} = K(R)$$

(equação 1)

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB} \right]^{-1}$$

(equação 2)

Para o arranjo Wenner: $\rho_a = (2\pi a)R$

(equação 3)

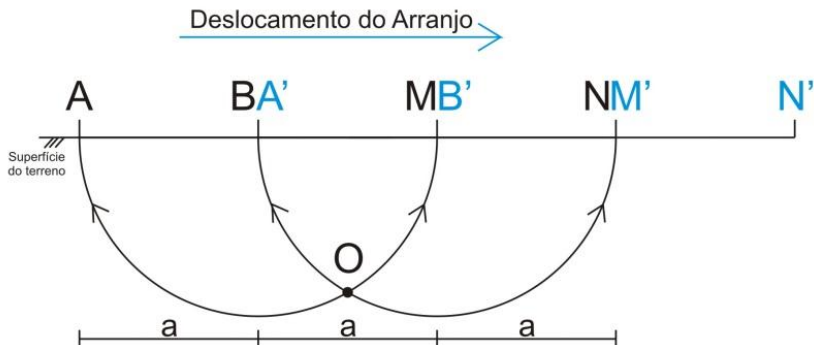
Para o arranjo Schlumberger: $\rho_a = \frac{\pi a^2}{b} \left[1 - \frac{b^2}{4a^2} \right] R; a \geq 5b$

(equação 4)

3.3.3.1. Arranjo Dipolo-Dipolo

Segundo Borges (2007) este arranjo apresenta uma boa sensibilidade em mudanças horizontais de resistividade, mas relativamente insensível a variações verticais.

Neste tipo de arranjo, o espaçamento “a”, entre o par de eletrodos de corrente (AB), é o mesmo do par de eletrodos de potencial (MN) e a distancia entre esses dois pares é um fator “n” de “a” (Figura 5). Depois de realizada a primeira medida, um par de eletrodos é deslocado adiante uma distância “n” fator de “a”, aumentando-se, desta maneira, a profundidade de investigação.



A e B - Eletrodos que introduzem corrente

M e N - Eletrodos que recebem corrente

O - Ponto de Medida

Figura 5 - Medidas de 1º Nível segundo o arranjo dipolo-dipolo

A sequência de operação para se obter uma pseudoseção geolétrica é: na investigação da medida do primeiro nível (1a) são utilizados os eletrodos 1, 2, 3 e 4, com a disposição: A, B, M e N, ou seja, dois eletrodos de corrente, seguido de dois eletrodos de potencial. Para a segunda medida, a disposição dos eletrodos é mantida, porém o espaçamento “a” entre os eletrodos AB e MN continua, aumentando o espaçamento entre os eletrodos BM, que será um fator “n” de “a”. No exemplo abaixo, o fator “n” para o primeiro nível de investigação é 2; para o segundo é 3, e assim sucessivamente (Figura 6).

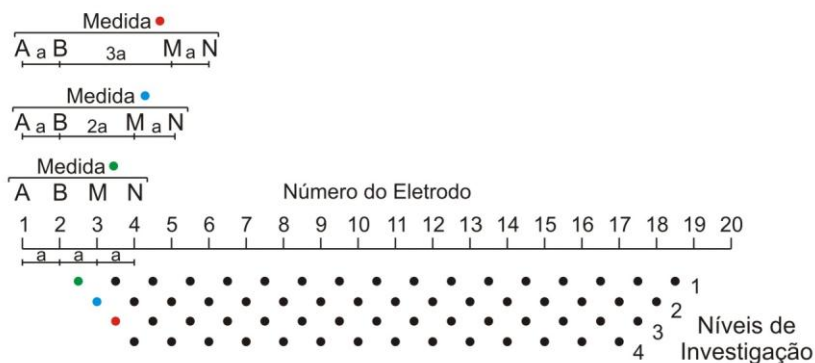


Figura 6 - Explicação do arranjo Dipolo-Dipolo

3.3.3.2. Arranjo Schlumberger

O arranjo Schlumberger é geralmente utilizado com o objetivo do estudo da distribuição vertical, isto é, com a profundidade do parâmetro resistividade elétrica. Portanto para melhores resultados da aplicação deste arranjo é indicado que seja feito em terrenos lateralmente homogêneos, compostos de camadas estratificadas plano-paralelas (SOUZA, 2006).

Neste tipo de levantamento, chamado Sondagem Elétrica Vertical, ou SEV, os eletrodos ficam dispostos da seguinte maneira, um eletrodo de corrente (A), dois eletrodos de potencial (M e N) e por último um eletrodo de corrente (B). Apenas os eletrodos de corrente (A e B) se movimentam, enquanto os de potencial ficam parados com um certo espaçamento (Figura 7).

As medidas adquiridas são pontuais e formam uma linha vertical, perpendicular ao plano do terreno, no ponto médio da distância M-N, como mostrado na figura 7.

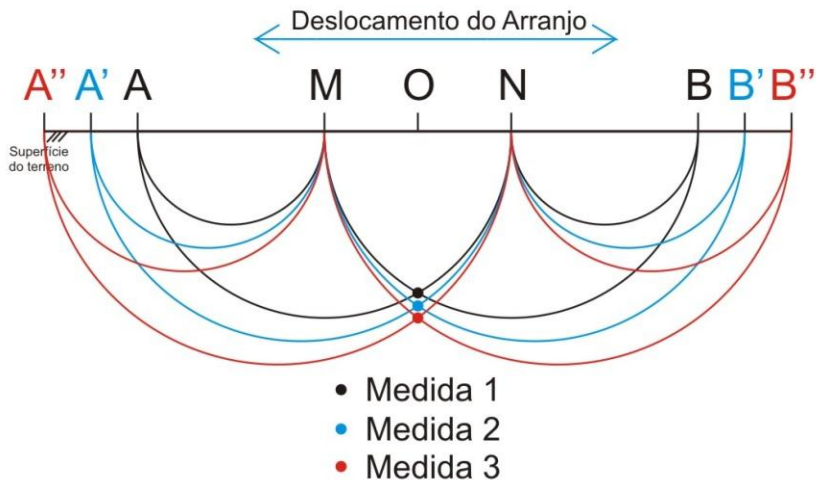


Figura 7 - Esquema das medidas segundo o arranjo Schlumberger

3.3.4. Propriedade elétrica dos materiais geológicos

Uma das principais propriedades elétricas dos materiais geológicos é a resistividade elétrica (ρ) que é uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra para sua passagem em um dado material.

No solo e rochas a resistividade depende, dentre outros, dos seguintes fatores predominantes: porosidade, composição mineralógica, grau de saturação, resistividade do fluido que preenche os vazios (que é função da concentração de sais dissolvidos no fluido), tamanho e forma das partículas sólidas (GANDOLFO, 2007).

O fluxo de corrente elétrica induzido pelo método pode se propagar em subsuperfície por três formas de condução, Condução Eletrônica, Condução Eletrolítica e Condução Dielétrica, como definiu Fachin (2007) em seu trabalho:

- Condução Eletrônica: tem a ocorrência principalmente nos materiais geológicos que possuem estrutura homogênea, alta concentração de elétrons livres e elevada mobilidade, ou seja, transporte de elétrons através da matriz da rocha

devido ao modo de agregação dos minerais e ser grau de impurezas. Ex.: metais e semicondutores.

- **Condução Eletrolítica ou Iônica:** principal tipo de condução nos materiais geológicos, destacando-se no meio poroso sedimentos inconsolidados e fissuras ou descontinuidade das rochas, pois é devido ao deslocamento dos íons existentes nas soluções contidas nas rochas e solos. Fatores que controlam o fluxo de corrente elétrica através desta solução presente são o fluxo de corrente nos poros, concentração de íons, a valência, a mobilidade e temperatura.
- **Condução Dielétrica:** tem sua ocorrência em meios isolantes ou que são fracos condutores de corrente elétrica. Um fenômeno característico deste tipo de condução é a polarização dielétrica, onde esta se caracteriza pelo deslocamento brusco dos elétrons através da influencia de um campo elétrico induzido.

De acordo com Gandolfo (2007), os minerais, em sua maioria, não são bons condutores de corrente elétrica, a exceção de alguns metais ativos e de compostos semi-metálicos como a pirita (FeS_2) e outros sulfetos metálicos. Portanto, a condutividade elétrica de solos e rochas é predominantemente do tipo eletrolítica ou iônica, pois se faz através de um eletrólito, a água que contém íons em solução. Segue uma tabela com os valores médios de resistividade elétrica de alguns materiais geológicos.

Tabela 3- Valores Médios de resistividade elétrica de materiais geológicos

Material	Resistividade (ohm.m)
Hematita	$3.5 \times 10^{-3} - 10^7$
Magnetita	$5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$
Quartzo	$300 - 10^6$
Sal de rocha	$30 - 10^{13}$
Antracita	$0,001 - 2 \times 10^5$
Lignita	$9 - 200$
Granito	$300 - 3 \times 10^6$
Granito (intemperizado)	$30 - 500$
Basalto	$10 - 1,3 \times 10^7$
Xistos (calcário e mica)	$20 - 10^4$
Xisto (grafite)	$10 - 100$
Mármore	$100 - 2,5 \times 10^8$
Folhelhos Consolidado	$20 - 2000$
Conglomerados	$2000 - 10^4$
Arenitos	$1 - 7,4 \times 10^8$
Calcários	$50 - 10^7$
Dolomita	$350 - 5000$
Argilas	$1 - 100$
Solo (40% de argila)	8
Solo (20% de argila)	33
Argila (muito seco)	$50 - 150$
Coque	$0,2 - 8$
Quaternário / areias recentes	$50 - 100$

Solos lateríticos	120 – 750
Solo arenoso seco	80 – 1050
Areia argilosa/Argila arenosa	30 – 215
Areia e cascalho	20 – 225
Aterro não saturados	30 – 100
Aterros saturados	15 – 30
Escoamento de chuva	20 – 100
Escoamento de Aterro	10 – 50

Fonte: Reynolds, 1997

4. METODOLOGIA

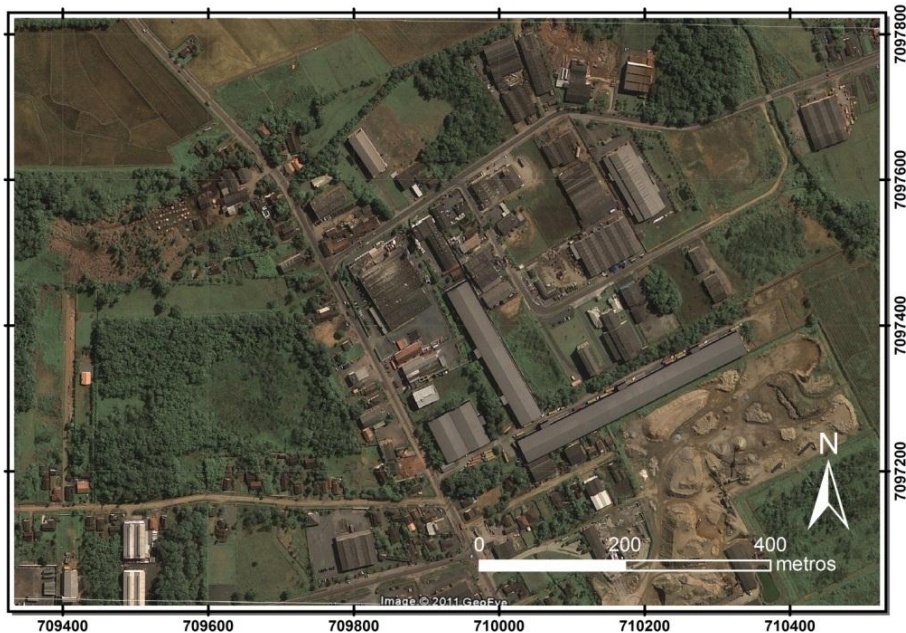
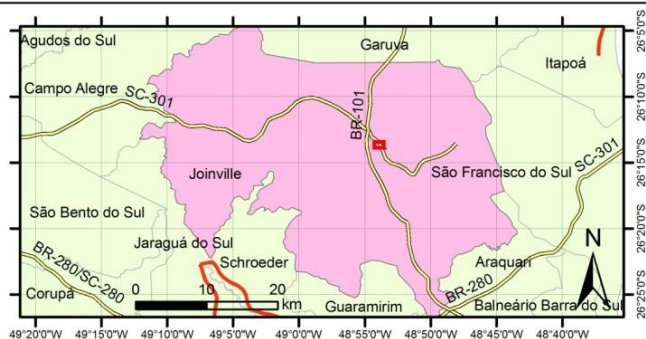
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho procurou-se estudar o contexto ambiental de uma área com potencial para apresentar plumas de contaminação com sais inorgânicos.

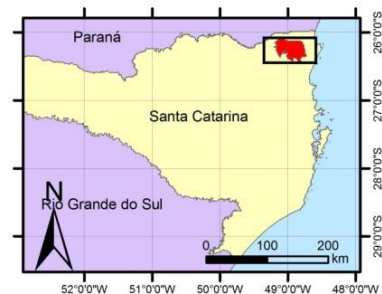
Desta forma, o local escolhido foi uma indústria química com uma ampla produção de sais de iodo e de cobalto destinados principalmente ao setor farmacêutico e de ração animal.

Na caracterização do local de estudo foi realizada uma visita de campo, onde foram observados os aspectos ambientais da área de influência direta e indireta da empresa, com ênfase nas características geológicas, geomorfológicas, hidrográficas, climáticas, faunísticas e de vegetação nativa do local.

A indústria está localizada na área industrial de Pirabeiraba, no município de Joinville – SC, conforme mapa de localização a seguir.



MAPA DE LOCALIZAÇÃO ÁREA DE ESTUDO JOINVILLE - SC



Base cartográfica:
 Dados Provisórios da Secretaria de
 Desenvolvimento Sustentável de Santa
 Catarina (2008)
 Malha Municipal - Brasil -
 Escala 1:500.000 - IBGE
 Imagem Google Earth - Data: 05/05/2009
 Georreferenciada através do
 Software GlobalMapper.
 Projeção Cartográfica UTM 22 S
 Datum Vertical: Imbituba (SC - Brasil)
 Datum Horizontal: SAD 1969

Elaboração do mapa:

Mayara Lilian Prá

4.2. COLETA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS

Os dados coletados são de dois tipos: dados geofísicos – através da eletrorresistividade – e dados ambientais – através da observação local.

Para a determinação do nível freático no subsolo foi utilizada a técnica geofísica de SEV – Sondagem Elétrica Vertical – onde ocorre a investigação pontual do subsolo no sentido vertical, para poder determinar o nível freático em diversos pontos e com a interpretação destes dados, estipular a direção principal do fluxo da água subterrânea.

Foram realizadas 4 SEVs no pátio da empresa, com objetivo de determinar a profundidade do topo do “lençol freático”. A diferença de profundidade do topo do lençol freático gera uma diferença de potencial e define a direção do fluxo subterrâneo, que se dá do ponto mais próximo da superfície para o mais profundo. Considerou-se, para este trabalho, a superfície do terreno sendo plano, isto é, a cota do terreno para todas as SEVs é a mesma, considerada como 0m.

Para a realização das SEVs utilizou-se o arranjo Schlumberger – descrito no item 3.3.1.2 – com espaçamento inicial de $AB = 4m$, aumentando de 2 em 2 metros para cada lado; e MN fixo igual a $0,4m$. A profundidade de investigação nos 4 SEVs realizados no pátio da empresa foi em média 20m.

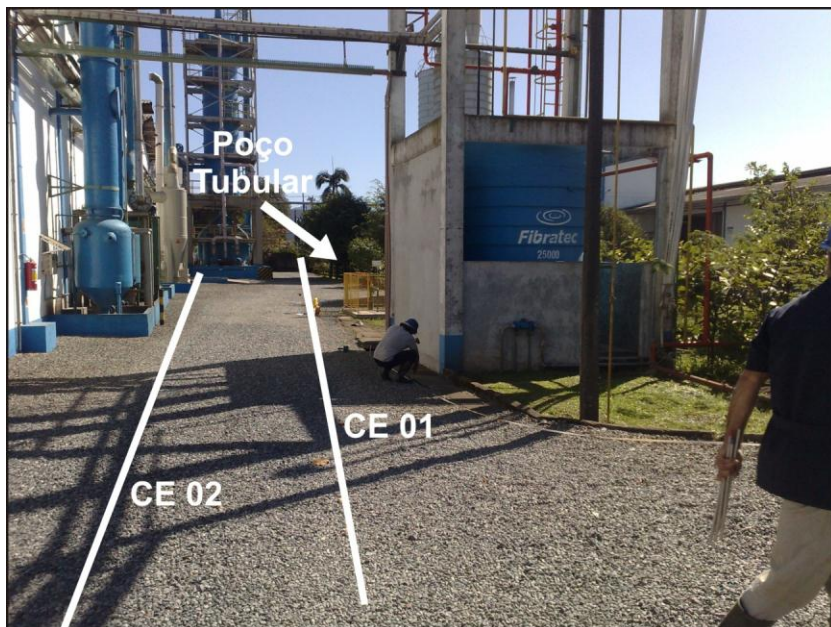


Figura 8 - Realização do levantamento geofísico próximo ao Poço Tubular

Para a identificação da possível contaminação com sais inorgânicos, foi utilizada a técnica do Caminhamento Elétrico (CE), onde são geradas imagens em duas dimensões e pode-se acompanhar o comportamento da resistividade dos materiais geológicos ao longo de um perfil.

Foram realizados 4 CEs – Caminhamentos Elétricos – 3 paralelos entre si e o último perpendicular aos primeiros, que passam pelo poço tubular profundo. Foi utilizado o arranjo Wenner, onde tanto os eletrodos de potencial quanto os eletrodos de corrente se movimentam e mantêm o mesmo espaçamento entre si durante um mesmo nível de investigação.

Sabe-se que, no caso haja contaminação com sais inorgânicos, esta se dará superficialmente no terreno. Isto porque, sabe-se, a priori, que o nível da zona saturada – ou do fluxo subsuperficial – na região é raso, estando a uma profundidade baixa. Desta forma, os CEs foram

realizados com uma grande densidade de medidas junto à superfície, não sendo necessário atingir grandes profundidades de investigação.

O critério utilizado para elaboração do Mapa Hidrogeológico foi o seguinte: a diferença de altura do topo do lençol freático entre dois pontos levantados determina o sentido do fluxo da água subsuperficial; e a interpolação de valores entre os pontos é utilizado para se traçar as linhas equipotenciais, ou seja, que apresentam a mesma profundidade do topo do lençol freático.

As medidas foram realizadas com um Resistivímetro GTR-3 Geotrade (Figura 9), de fabricação suíça, cujos acessórios são eletrodos e cabos por onde a corrente elétrica é conduzida.



Figura 9 - Equipamento *Resistivímetro GTR-3 Geotrade*

O trabalho de campo foi realizado por uma equipe de 3 pessoas, na qual a autora deste trabalho ficou responsável por inserir os dados e ler as medidas no equipamento enquanto outras duas pessoas, conectavam os cabos de corrente aos eletrodos a cada nova medida.

A metodologia em campo é descrita a seguir: a cada medida, o operador do resistivímetro insere o valor correspondente a K – que é o fator geométrico e varia de acordo com o tipo de arranjo e espaçamento entre os eletrodos – e os outros membros da equipe conectam os cabos condutores de corrente aos eletrodos correspondentes, assim que todos os cabos estão devidamente conectados, é induzida a corrente e a medida é realizada no resistivímetro, então o operador do equipamento anota esta medida em uma planilha pré-definida para o tipo de arranjo e espaçamento adotados.

Cabe ressaltar, que é essencial haver um treinamento e uma boa comunicação entre a equipe que maneja os cabos de corrente e o operador do resistivímetro, uma vez que se trabalha com corrente elétrica, havendo risco de ocorrer acidentes.

Os trabalhos de campo foram realizados durante o dia 22/03/2011.

4.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o processamento dos dados obtidos em campo, utilizou-se o software RES2DINV, que é um programa computacional desenvolvido na Malásia que determina de forma automática um modelo bidimensional (2D) de resistividade elétrica em subsuperfície utilizando os dados obtidos em levantamentos geofísicos por eletrorresistividade, tal software é capaz de inverter expressivos volumes de dados de campo em microcomputadores em um tempo reduzido.

Para a utilização deste programa, os dados foram coletados de tal forma que os eletrodos estejam alinhados e seja constante o espaçamento entre eletrodos adjacentes.

Após o processamento das medidas feitas em campo, o software gera um gráfico para a técnica de SEV – Sondagem Elétrica Vertical; e para a técnica do Caminhamento Elétrico, é gerado um perfil em duas dimensões, como mostrado nas figuras 10 e 11.

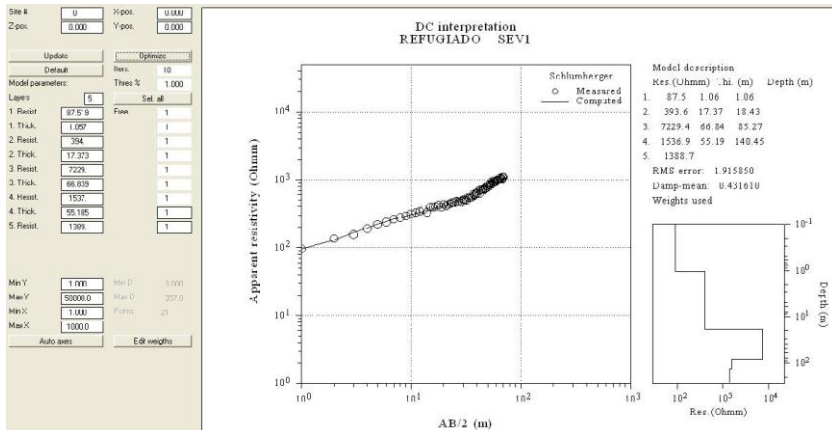


Figura 10 - Exemplo de SEV; gráfico gerado pelo software RES2DINV. Cedida por GeoEnvi - Geologia e Meio Ambiente

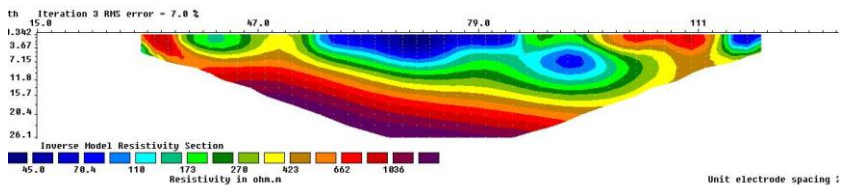


Figura 11 - Exemplo de caminhamento elétrico; imagem 2D gerada pelo software RES2DINV. Cedida por GeoEnvi - Geologia e Meio Ambiente

Logo após, estas imagens são redesenhadas através do software Corel DRAW X4, onde as resistividades são colocadas em escala padronizada para facilitar a interpretação dos dados.

4.4. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A interpretação dos dados geofísicos é um trabalho muito subjetivo e requer experiência e conhecimento prévio das características geológicas da área de estudo.

Nesta fase do trabalho além da visita prévia feita em campo e da revisão bibliográfica realizada, é essencial a opinião de um especialista no assunto. Portanto, foi realizada uma consulta a um geólogo especializado para auxiliar na avaliação dos resultados que foram obtidos. A partir disso, foi elaborada a seguinte escala de resistividade interpretada para os caminhamentos - Figura 12 e para as SEVs – Figura 13.

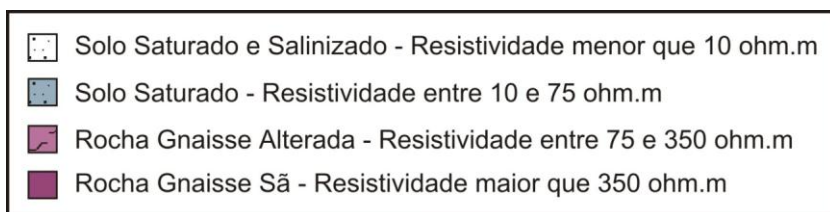


Figura 12 - Escala de Interpretação - CEs

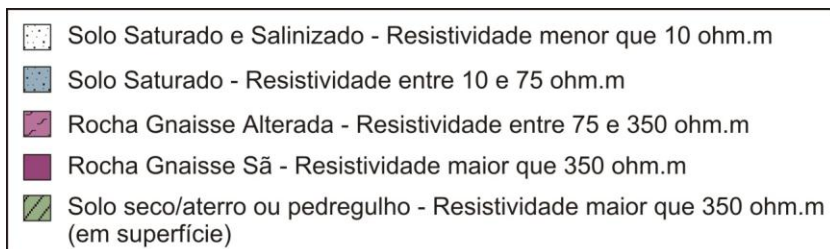


Figura 13 - Escala de Interpretação – SEVs

5. RESULTADOS

5.1. MAPA HIDROGEOLÓGICO LOCAL

Foram executados 4 SEVs – Sondagens Elétricas Verticais – no pátio da empresa, com o objetivo de determinar a profundidade do topo do lençol freático e assim, produzir o mapa de sentido e direção de fluxo subsuperficial, denominado por Mapa Hidrogeológico.

A localização destas SEVs é mostrada no Mapa Hidrogeológico gerado apresentado a seguir.

Os dados da Tabela 2, apresentada no item 3.2.2, juntamente com o estudo geológico, geomorfológico e hidrogeológico do local foram usados para a interpretação dos resultados obtidos com as sondagens.

SEV 1

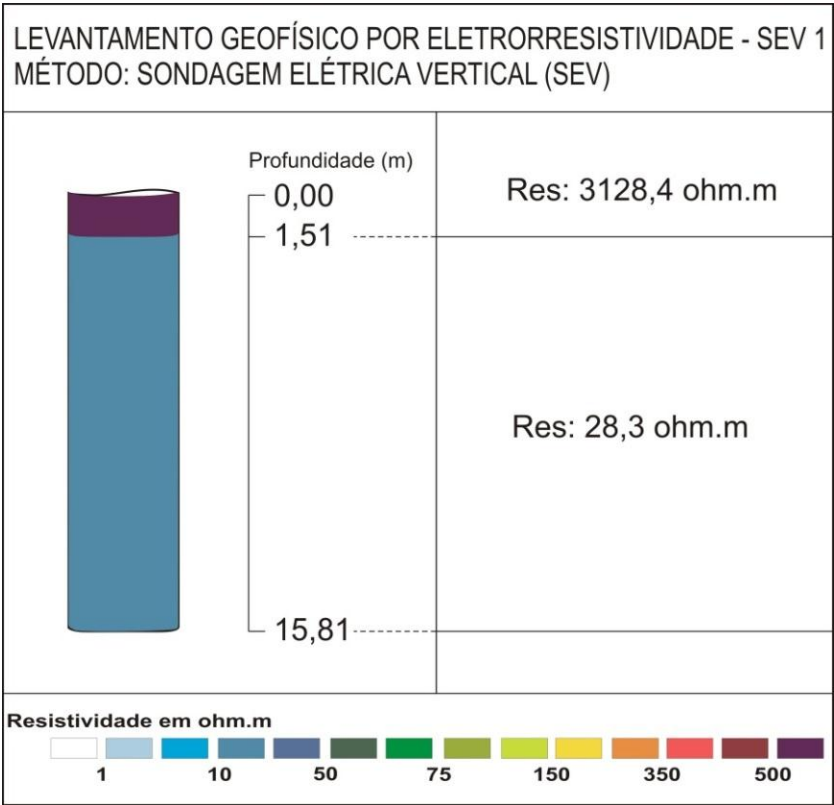


Figura 14 - SEV 01

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETORRESISTIVIDADE - SEV 1
MÉTODO: SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)

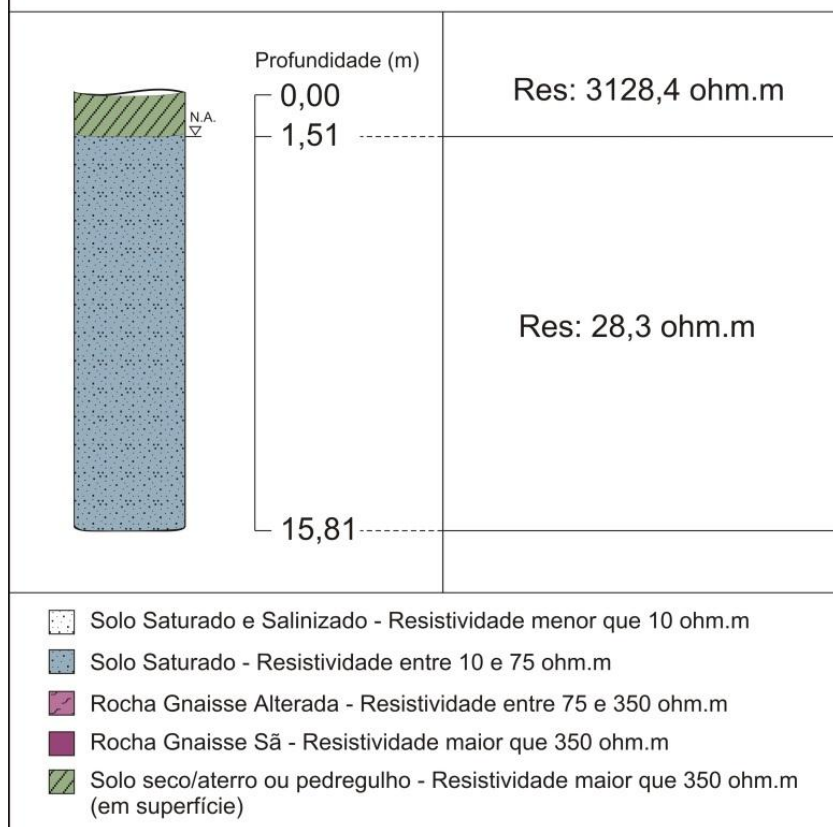


Figura 15 - SEV 01 interpretado

Considerando uma faixa de resistividade de 10 a 75 ohm.m para a água – solo saturado – nota-se que o nível de água – topo do lençol freático – localiza-se a 1,51m de profundidade, estando recoberto por solo seco, que apresenta elevada resistividade.

SEV 2

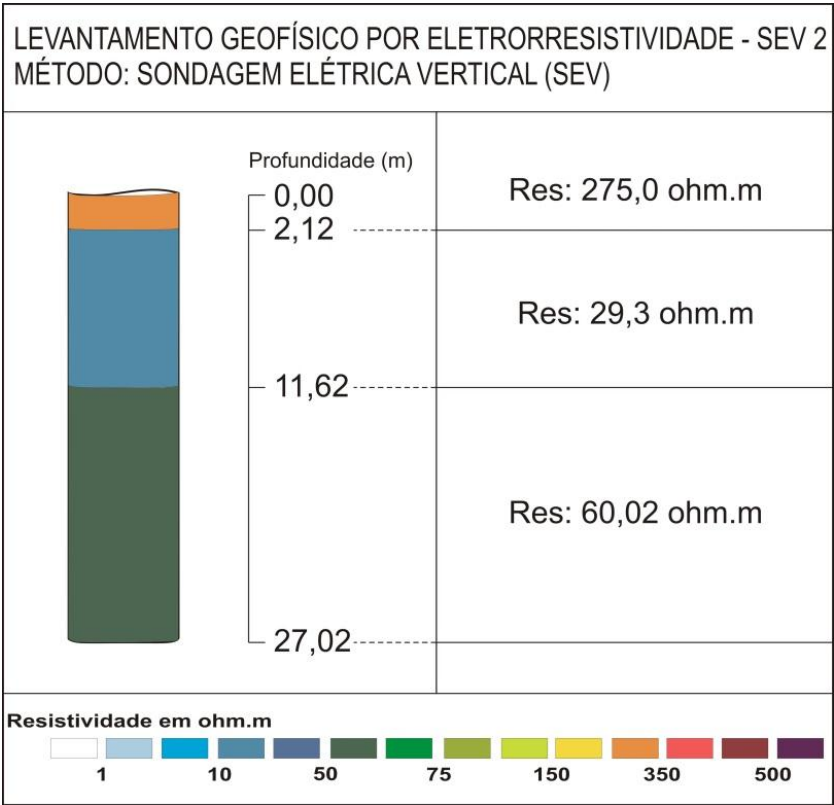


Figura 16 - SEV 02

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETRORRESISTIVIDADE - SEV 2
MÉTODO: SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)

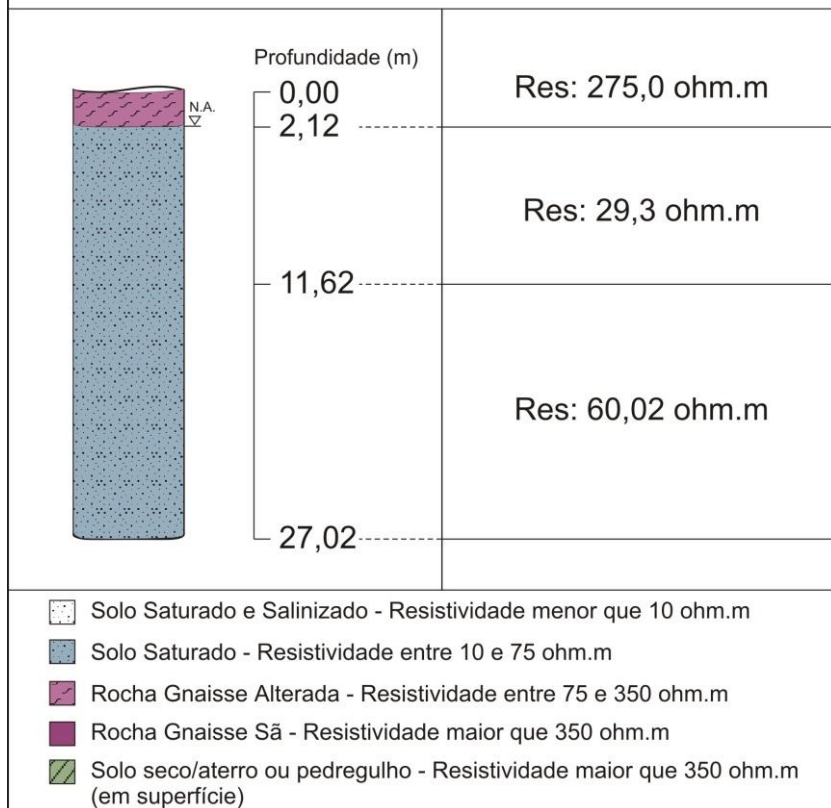


Figura 17 - SEV 02 interpretado

Neste ponto do pátio da empresa, o nível da água subsuperficial está a 2,12m de profundidade.

SEV 3

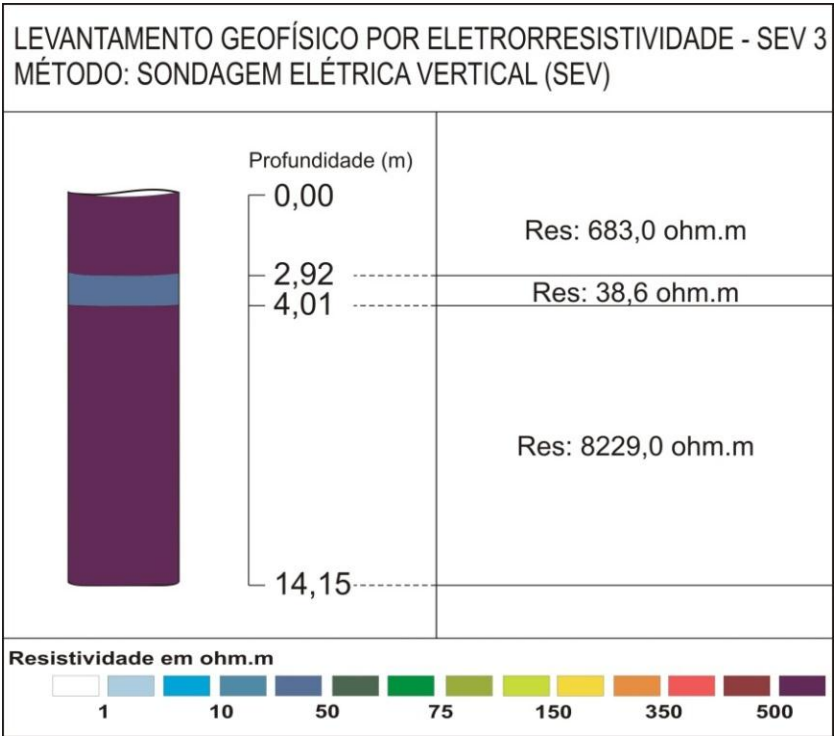


Figura 18 - SEV 03

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETRORRESISTIVIDADE - SEV 3
MÉTODO: SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)

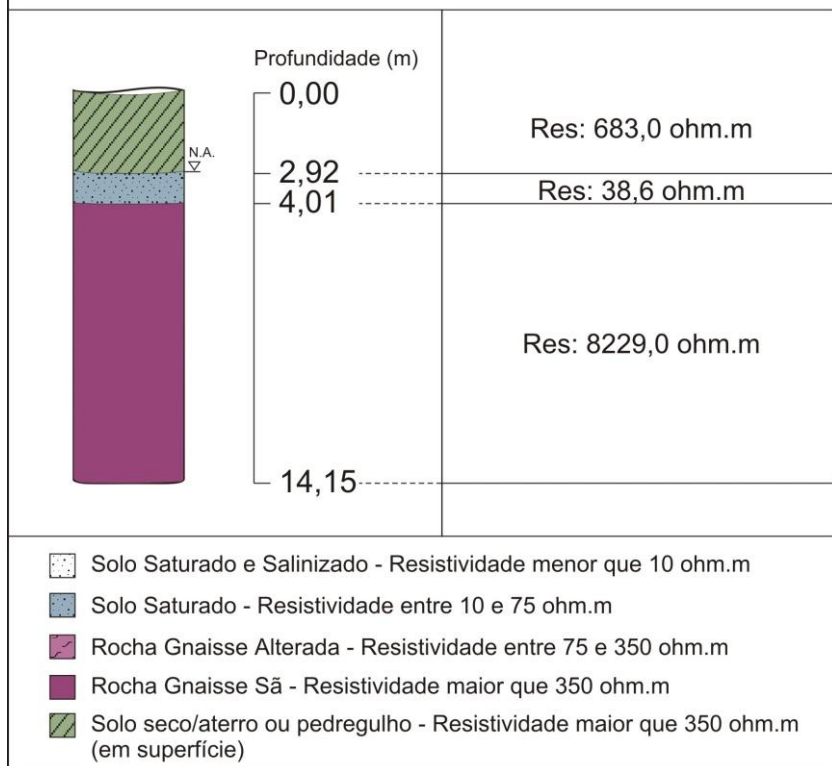


Figura 19 - SEV 03 interpretado

Na SEV 3, o lençol freático apresenta-se a uma profundidade de 2,92m, onde a camada saturada estende-se até aproximadamente 4,00m de profundidade, logo abaixo, nota-se um incremento significativo na resistividade do meio geológico, indicando possivelmente a presença da rocha sã, no caso da região de Joinville, trata-se de rocha metamórfica do tipo gnaiss.

SEV 4

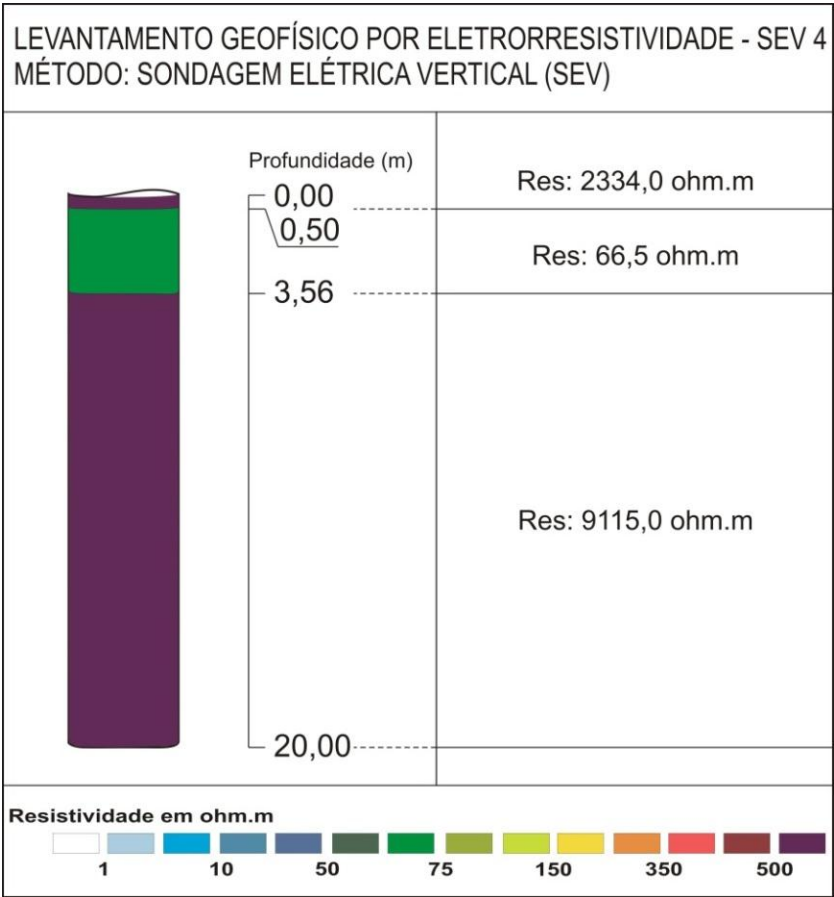


Figura 20 - SEV 04

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETRORRESISTIVIDADE - SEV 4
MÉTODO: SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)

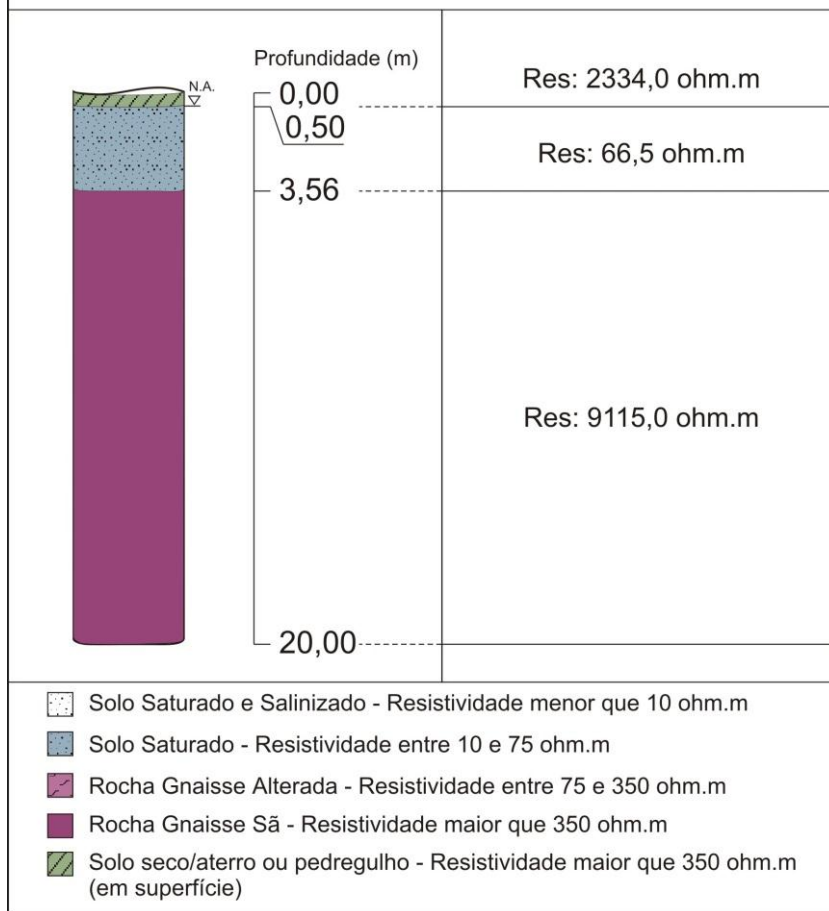


Figura 21 - SEV 04 interpretada

Na SEV 4, o topo do lençol freático é um pouco mais raso, estando a apenas 0,50m da superfície do terreno, sendo que a espessura da camada saturada é de aproximadamente 3,00m neste ponto, seguido de um aumento na resistividade, ou seja, presença de gnaisse densa.

A partir dos dados analisados nas SEVs acima, da localização e sentido do Rio Mississippi – principal curso d'água mais próximo da empresa, foi elaborado o mapa com direção e sentido do fluxo subsuperficial – Mapa Hidrogeológico, apresentado a seguir.

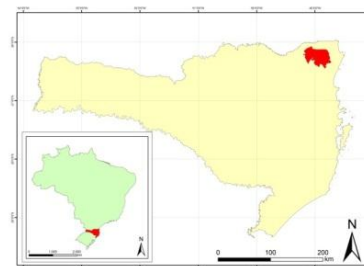


SEV 1 – 1,51m
SEV 2 – 2,12m
SEV 3 – 2,92m
SEV 4 – 0,50m

LEGENDA:

 Rio Mississipi
 Sentido do fluxo

MAPA HIDROGEOLÓGICO ÁREA DE ESTUDO JOINVILLE - SC



Mapa elaborado com base na planta baixa fornecida pela empresa. Localização dos pontos dos Caminhamentos Elétricos (CEs) e Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) feitas com GPS com precisão de 10m.

Elaboração do Mapa:
Mayara Lilian Prá

Conforme se pode observar no mapa supracitado, o sentido do fluxo subterrâneo de água é na direção do Rio Mississippi (Figura 22) e, ao se aproximar do rio tende a seguir o fluxo natural do mesmo.



Figura 22 - Rio Mississippi passando pelo terreno da empresa

5.2. MAPEAMENTO DO SUBSOLO DA EMPRESA

Para a determinação de eventuais plumas de contaminação foram executados 4 Caminhamentos Elétricos, sendo 3 paralelos e um perpendicular. Os caminhamentos paralelos passam pelo poço tubular profundo que abastece a empresa, como mostrado na figura 8 no capítulo 4 – Metodologia.

Segue o detalhamento das imagens geolétrica geradas e um breve comentário a respeito da interpretação dos resultados obtidos.

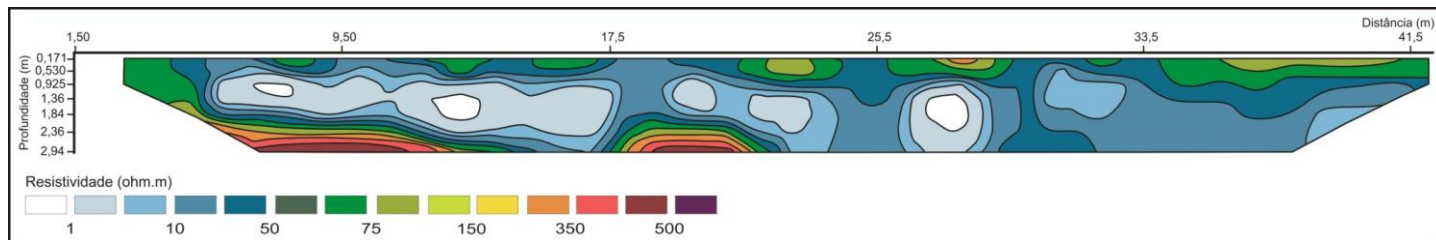


Figura 23 - CE 01

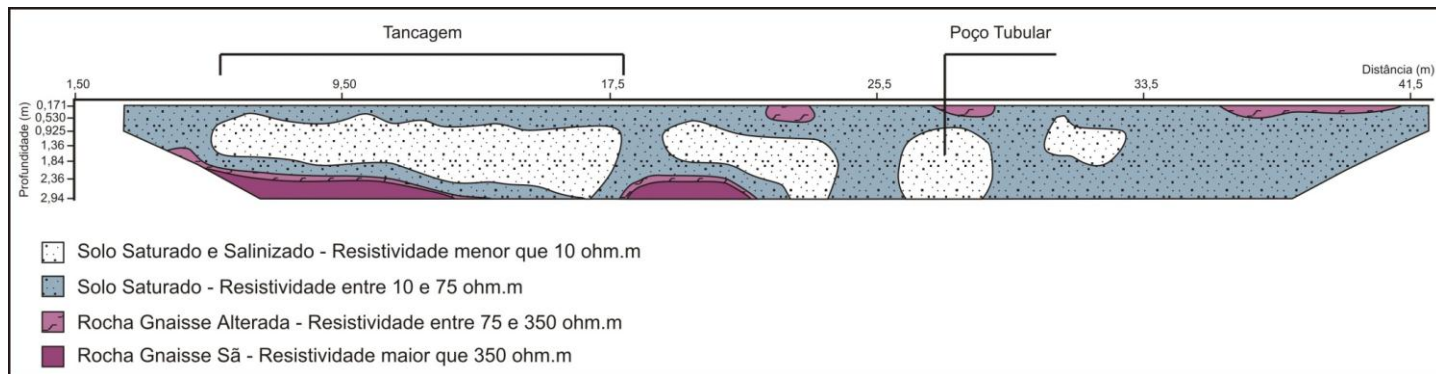


Figura 24 - CE 01 interpretado

O Caminhamento 1 (CE01, passa pelo poço tubular) foi realizado com uma grande densidade de medidas junto à superfície do terreno, atingindo uma profundidade de investigação de 3m.

A Imagem Geoelétrica mostra uma queda brusca na resistividade, apresentando uma faixa de 0 a 10 ohm.m – a qual foi adotada na escala de resistividades para solo saturado e salinizado - numa profundidade de aproximadamente 1m. Este local (à esquerda na imagem geoelétrica) está próximo à tancagem (Figura 25), isto é, onde estão armazenados os sais de cobalto. Na parte mais à direita da imagem, o local onde há a queda na resistividade do meio é justamente onde está localizado o poço tubular que abastece a empresa.

Além disso, pode-se notar a presença de solo saturado até uma profundidade de 2,5m, seguida pelo topo de rocha gnaisse, como pode ser observado à esquerda na Figura 24.



Figura 25 - Tanques de Sais de Cobalto

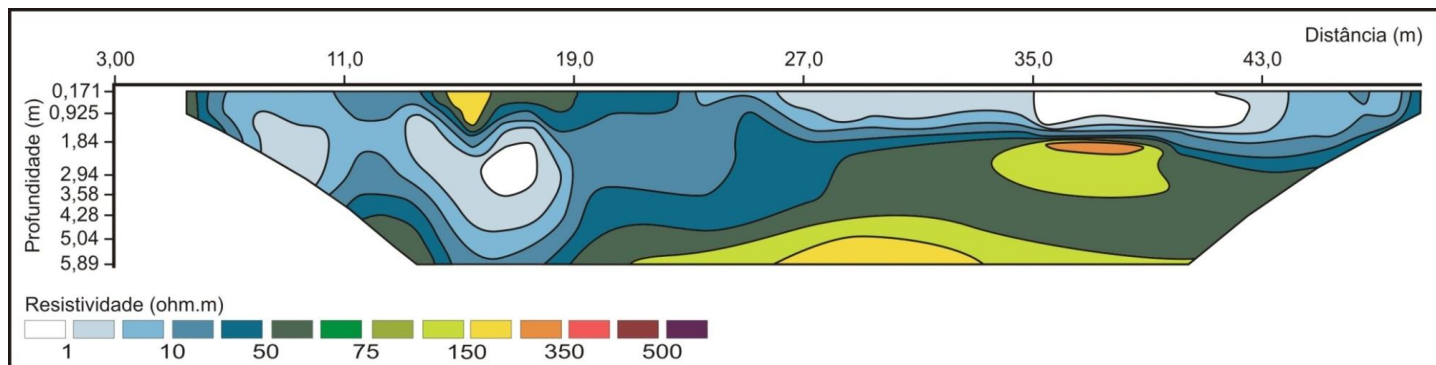


Figura 26 - CE 02

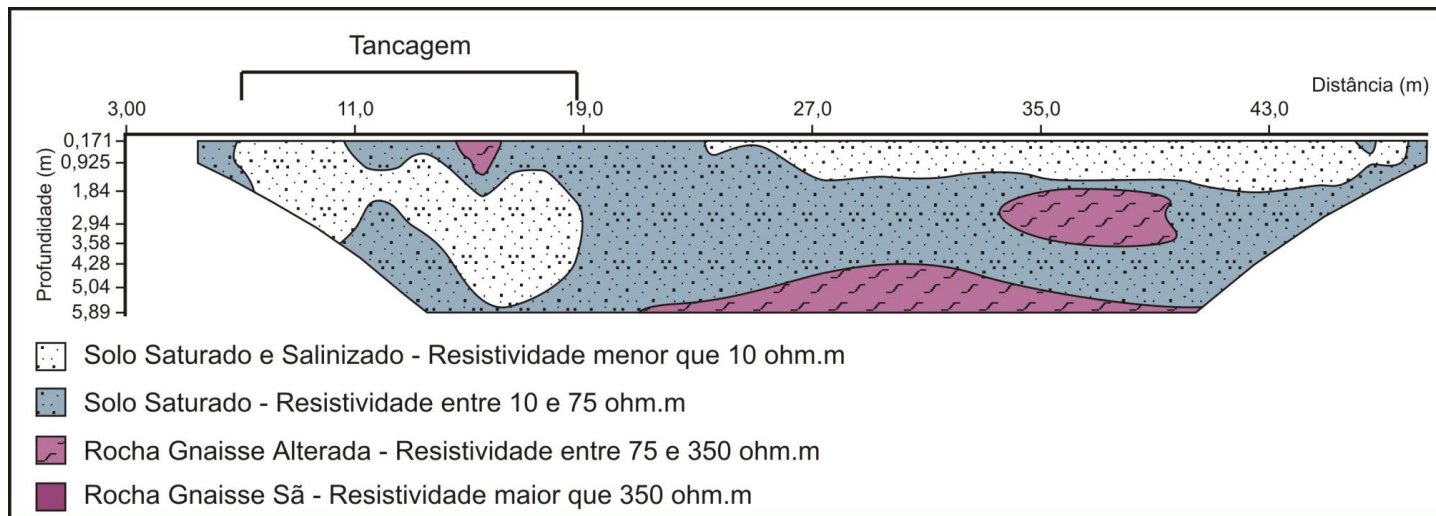


Figura 27 - CE 02 interpretado

O Caminhamento 2 (CE 02) foi realizado próximo da parede da indústria (rampa e tanques com sais de cobalto), conforme a Figura 8, do capítulo 4. Neste levantamento pode-se imagear uma profundidade maior, tendo sido atingido cerca de 6m. O levantamento iniciou junto à torre e mostra uma possível grande concentração de sais 16m distante desta, a qual atinge 5m de profundidade, sendo este o local dos tanques de armazenamento de cobalto. Além disso, o caminhamento identificou uma boa extensão de ocorrência de sais próximo da superfície (até 2m), mostrando que boa parte do subsolo da empresa já se encontra contaminado devido ao fluxo subterrâneo destes poluentes.

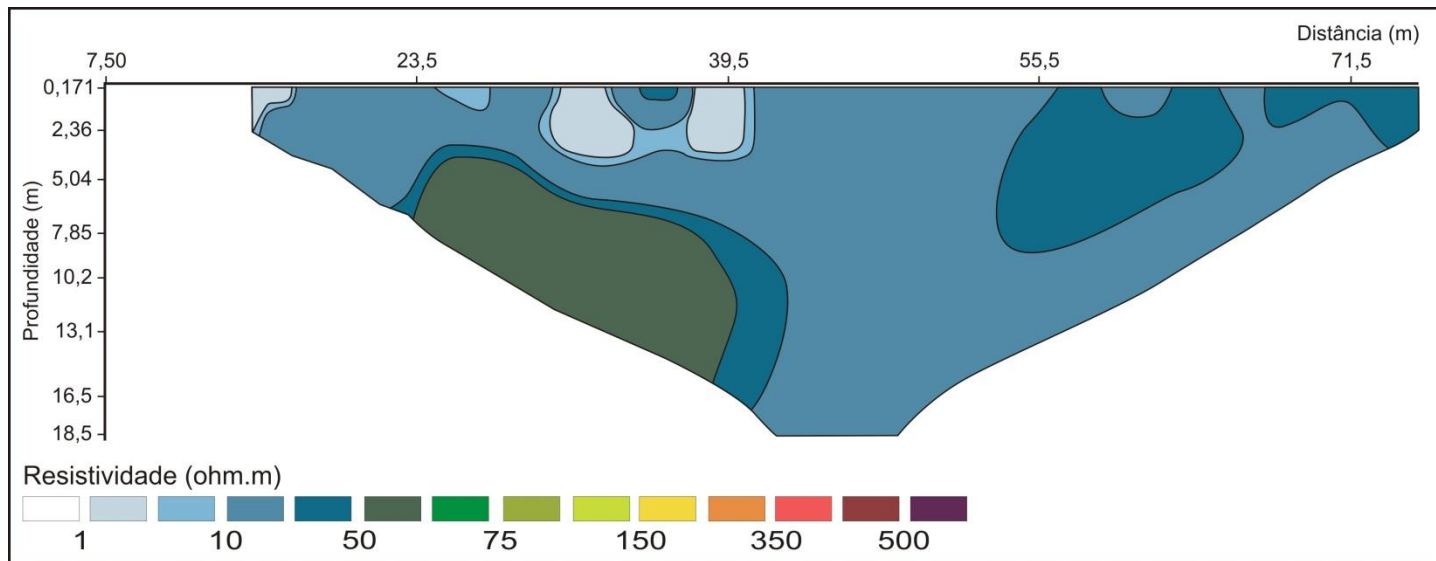


Figura 28 - CE 03

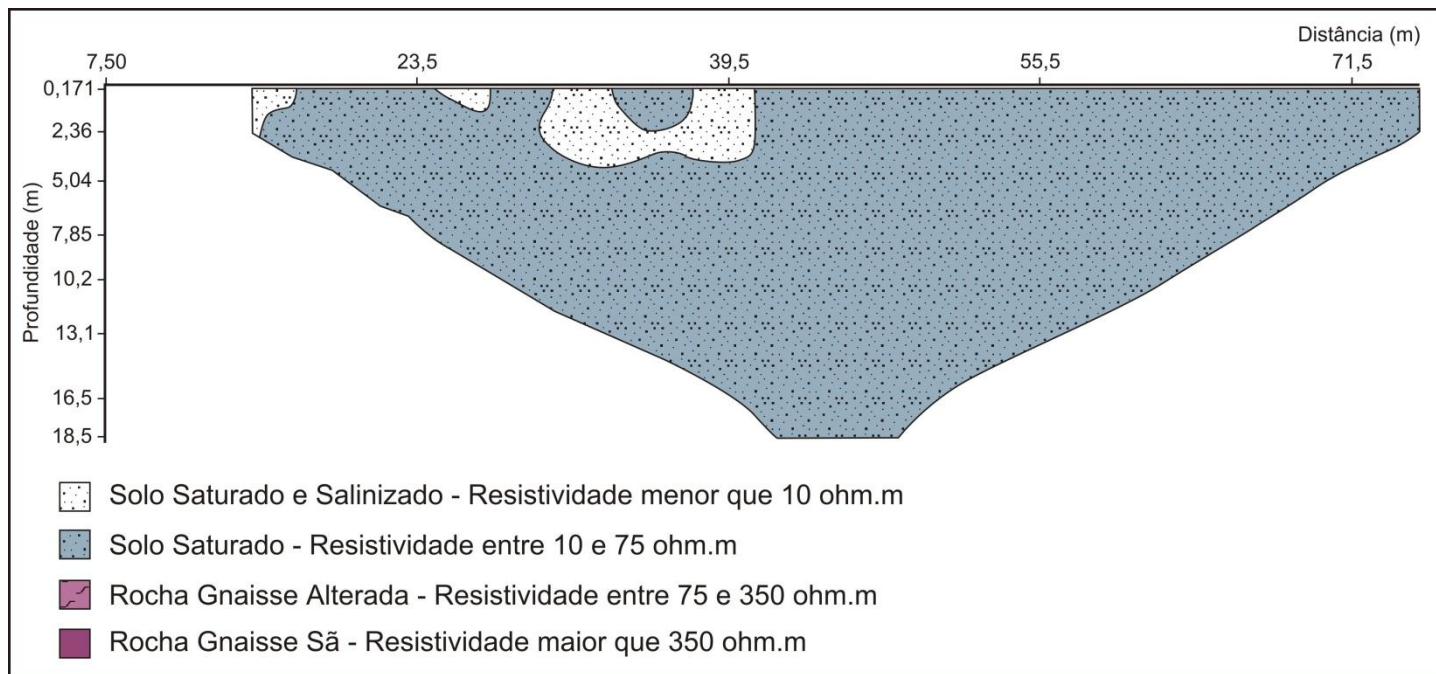


Figura 29 - CE 03 interpretado

O Caminhamento 3 (CE 03) foi executado também no mesmo sentido dos CEs 01 e 02, paralelamente a estes, porém do outro lado da vala de drenagem – Rio Mississippi mostrado na Figura 22. O caminhamento teve início junto à parede do prédio onde está localizada a caldeira da indústria. Neste levantamento se pôde imagear até 20m de profundidade. O resultado foi bastante semelhante ao CE 01 e CE 02, mostrando uma concentração de sais no subsolo atingindo cerca de 5m de profundidade se estendendo entorno de 40m do ponto inicial de levantamento.

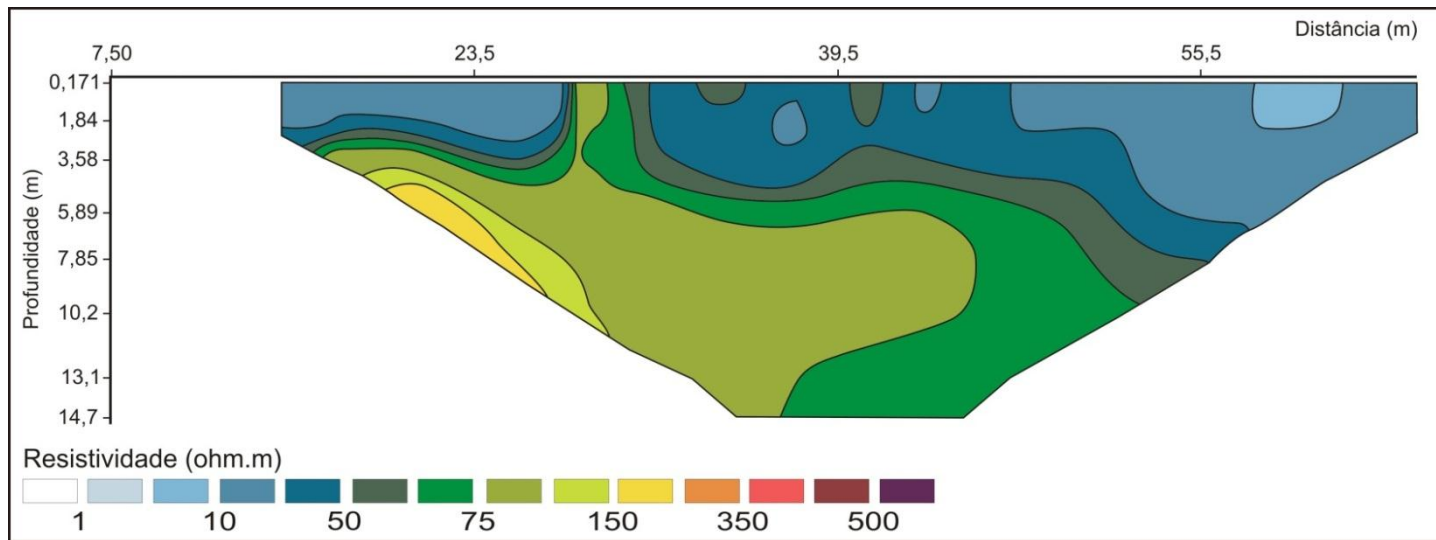


Figura 30 - CE 04

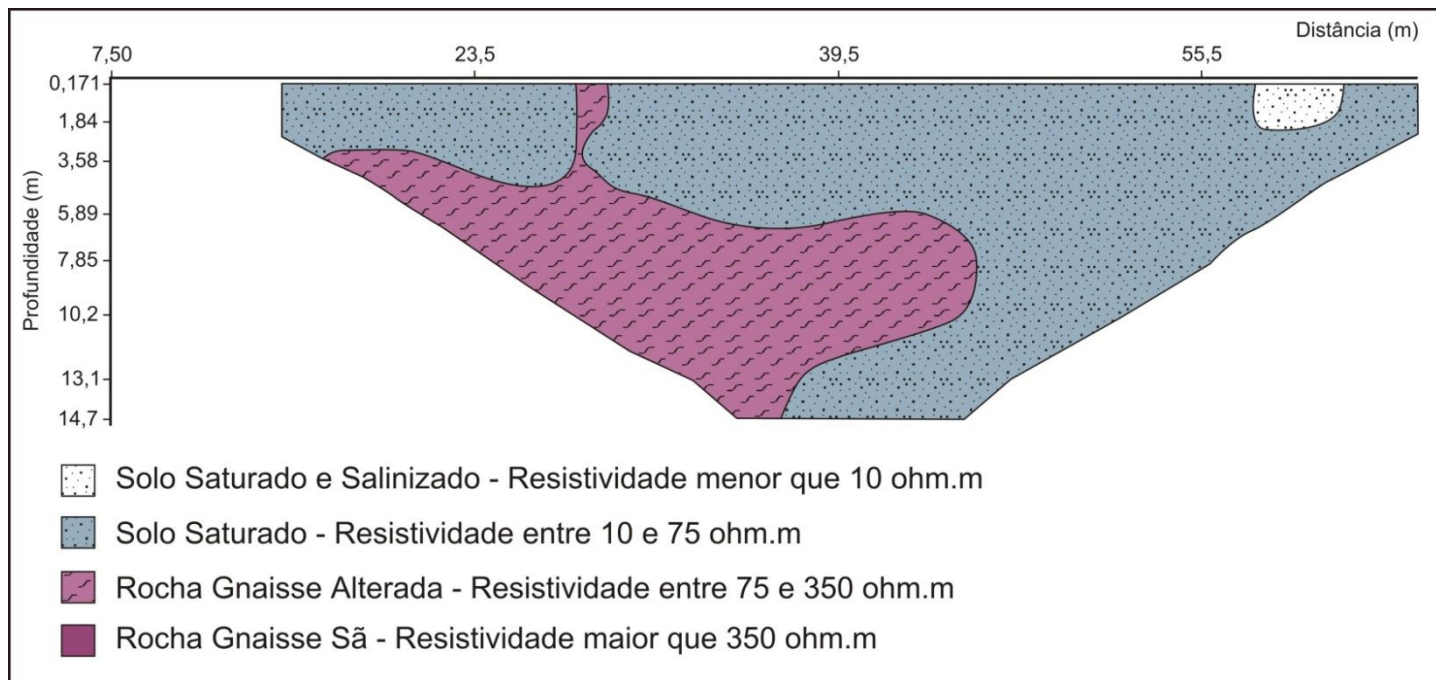


Figura 31 - CE 04 interpretado

O CE 04 foi realizado perpendicularmente aos anteriores, iniciando na tubulação de gás e passando junto à balança, na face leste do prédio principal da indústria. Desta forma, o início da CE 04 corta perpendicularmente alguns metros após o final da CE 01 e CE 02.

A imagem obtida pela CE 04 mostra que os sais que aparecem no subsolo na CE 01 e CE 02 diminuem a concentração além de 50m, admitindo-se neste caso, como fonte principal o local onde esta a torre e os tanques com sais de cobalto. Uma explicação para isso seria que o sentido principal do fluxo da água subsuperficial é de SW para NE (sentido dos caminhamentos 1, 2 e 3), ou seja, da Rua Dona Francisca para os fundos da empresa. Isto também explicaria a presença de sais detectada na CE 03 (do outro lado do Rio Mississippi). Entretanto, o fluxo não é puramente de SW para NE, havendo alterações no sentido para W-E (conforme o fluxo da água do rio). Desta forma, os sais do subsolo se deslocam também neste sentido, aparecendo no início da CE04 (sentido que foram feitos os caminhamentos CE 01, 02 e 03, ou conforme o fluxo do Rio Mississippi).

A CE 04 também detectou uma área de baixa resistividade no final do caminhamento, próximo à guarita e balança. Este local deve ser mais bem estudado a fim de se avaliar outros eventuais focos de contaminação.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

A contaminação do subsolo se mostra como um impacto ambiental direto sobre o meio físico, uma vez que o carreamento dos poluentes – sais inorgânicos – através do fluxo de água subterrâneo pode contaminar o solo na região industrial.

Segundo Iezzi (2008), os efeitos diretos do incremento da salinidade no solo podem ser:

- Redução da habilidade das plantas em absorver água;
- Efeitos tóxicos em plantas que possuem limitada tolerância a sais;
- Formação de crostas de sais no solo;

- Empobrecimento da qualidade da água para consumo tanto humano como de animais.

Desta forma, o impacto caracteriza-se como um impacto negativo, direto, podendo ter duração de curto, médio ou longo prazo – de acordo com as medidas que forem tomadas a respeito do mesmo, isto inclui: estudo confirmatório e aplicação de medidas corretivas, caracterizando-se, portanto, como um impacto de natureza reversível.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que:

- O método geofísico por eletrorresistividade, por se tratar de um método indireto de investigação do subsolo, não pode afirmar categoricamente a presença de contaminação no subsolo da empresa. Isto devido à subjetividade da interpretação dos dados de resistividades medidos na superfície do terreno, que estão relacionados com valores de referência para os meios geológicos e com a experiência do avaliador destas medidas. Entretanto, pode-se indicar, com grande confiabilidade, a presença de contaminantes no subsolo da empresa;
- A possível contaminação verificada está muito provavelmente relacionada aos tanques de armazenamento de sais de cobalto, localizados próximo ao poço tubular que abastece a empresa;
- Devido ao fluxo subterrâneo de água, que demonstra ser predominantemente no sentido SW para NE, esta contaminação vai diminuindo ao passo que se afasta dos tanques de sais no sentido nordeste, ou seja, no sentido dos fundos do terreno da empresa.
- Há indicação de pontos de contaminação também próximos à entrada da empresa, no local onde está a guarita e balança dos produtos químicos, podendo ser outro foco de contaminação, onde se sugere um novo estudo para maior detalhamento.
- Os impactos ambientais provenientes desta possível contaminação são de natureza negativa, de influência direta, podendo ter uma duração de curto, médio ou longo prazo, de acordo com as medidas a serem tomadas com relação aos mesmos, sendo porquanto, impactos reversíveis.
- O método geofísico por eletrorresistividade mostrou boa resposta em relação ao meio geológico e o contaminante, apresentado bom contraste de valores, o que permitiu uma interpretação adequada dos dados de resistividade obtidos.

- Por fim, é imprescindível a realização de um estudo confirmatório no local, com coleta e análise de amostras de água do poço tubular que abastece a empresa e em outros pontos do terreno da empresa, além de amostras de solo do terreno, de acordo com metodologia específica, recomendada pelos órgãos ambientais responsáveis. Podendo, desta forma, dimensionar a magnitude do passivo ambiental e propor medidas corretivas para o mesmo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Informações hidrológicas - Hidroweb.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BAGGIO, S. B. **Água subterrânea em Joinville – SC.** Avaliação hidrogeológica do aquífero fraturado. São Paulo, 1997. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

BARBOSA, B. C. **Avaliação da qualidade das águas da microbacia hidrográfica do Rio Mississippi (SC) e seus potenciais impactos sobre a saúde pública.** Joinville, 2002. Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente) – Universidade da Região de Joinville.

BORGES, Welitom Rodrigues. **Caracterização Geofísica de Alvos Rasos com Aplicações do Planejamento Urbano e Meio Ambiente:** Estudo sobre o Controlado do IAG/USP. 260 f. Tese (Doutorado) - USP, São Paulo, 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento

de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Métodos Geofísicos**. São Paulo, 1999.

FACHIN, Sergio Junior da Silva. **Ensaio Geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto - SP**: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema. 2007. 165 f. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo, 2007.

FATMA. **Atlas ambiental da região de Joinville**: Complexo hídrico da Baía da Babitonga. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2003.

FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. Coordenação (Org.). Hidrogeologia: conceitos e Aplicações. 2ª Edição. Fortaleza: CPRM/REFO, 2000. 391 p.

GANDOLFO, Otávio Coaracy Brasil. **Um estudo do imageamento Geoeletrico na investigação rasa**. 234 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 2007.

GONÇALVES, Mônica Lopes. Qualidade da água subterrânea. In: KNIE, J. L. W. **Atlas ambiental da região de Joinville**: Complexo hídrico da Baía da Babitonga. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2002. p. 119-120.

GONÇALVES, Mônica Lopes et al. **Elaboração do plano diretor dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte**. Joinville: Univille, 2007. 109 p.

GONÇALVES, M. L.; BARBOSA, B. C. R. **A hidrogeologia da microbacia hidrográfica do Rio Mississipi (SC)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. Anais. Florianópolis, 2002.

GONÇALVES, M. L.; BARBOSA, B. C. R. **Sobre exploração do aquífero cristalino do município de Joinville**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDROGEOLOGIA SUBTERRÂNEA, 4., 1998, Montevideo. Anais. Montevideo: Associação Latino-americana de Hidrologia Subterrânea, 1998. v. 2, p. 852-860.

GONÇALVES, M. L.; DUARTE, U. **Estudo da água subterrânea na região de Joinville**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9., 1996, Salvador. Anais. Salvador: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1996.

GONÇALVES, Mônica Lopes; ZANOTELLI, Cladir Terezinha; OLIVEIRA, Fabiano Antonio. **Diagnóstico e Prognóstico das disponibilidades e demandas hídricas do Rio Cubatão do Norte**. Joinville: Univille, 2006. 92 p.

HARTMANN, L.A., DA SILVA, L.C. E ORLANDI FILHO, V. 1979 **Complexo Granulítico de Santa Catarina - Descrição e implicações genéticas.** *Acta Geológica Leopoldensia*, nº 6, vol. III - 94-112.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine.** Disponível em: <<http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2000. **Censo Demográfico 2000.** Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 12 nov. 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 12 nov. 2010.

IEZZI, Patrícia Braga Toletto. **Teste de aplicabilidade de sonda de eletrorresistividade na avaliação de salinização secundária de solos.** 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo.

IPPUJ – INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. Disponível em: <<http://www.ippuj.sc.gov.br>> Acesso em: 12 nov. 2010.

JOINVILLE. Prefeitura Municipal. **História da cidade**. Disponível em: <www.joinville.sc.gov.br> Acesso em: 05 nov. 2010.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. **Perfil dos municípios**. Disponível em: <<http://perfildomunicipio.caged.com.br>> Acesso em: 12 nov. 2010.

OLIVEIRA, Therezinha Maria Novais de; RIBEIRO, José Mário Gomes; MAGNA, Débora Jareta (Org.). **Diagnóstico Ambiental do Rio do Braço**. Joinville: Univille, 2009. 114 p.

REYNOLDS, John M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1997. 750 p.

ROSA, Rogério Oliveira. **Atlas ambiental da região de Joinville: Complexo hídrico da Baía da Babitonga**. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2003.

SILVA, Alberto Bernd Lima e. **Investigação Geoambiental de uma área contaminada por Resíduos Industriais**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado) - UFGRS, Porto Alegre, 2005.

SILVA, L. L.; BORTOLUZZI, C. A. 1981. **Geologia do Pré – Cambriano ao Eopaleozóico de Santa Catarina**. Texto explicativo para o Mapa Geológico de Santa Catarina. 11º Distrito do DNPM. Florianópolis, SC.

SOUZA, Luiz Antonio Pereira de. **Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas.** 311 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo, 2006.

UNIVILLE - UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE. **Dados meteorológicos.** Disponível em: <<http://www.univille.edu.br/contentId/cover/49823>>. Acesso em: 18 maio 2011.